FONDO PIZZOFALCONE

10. J 16

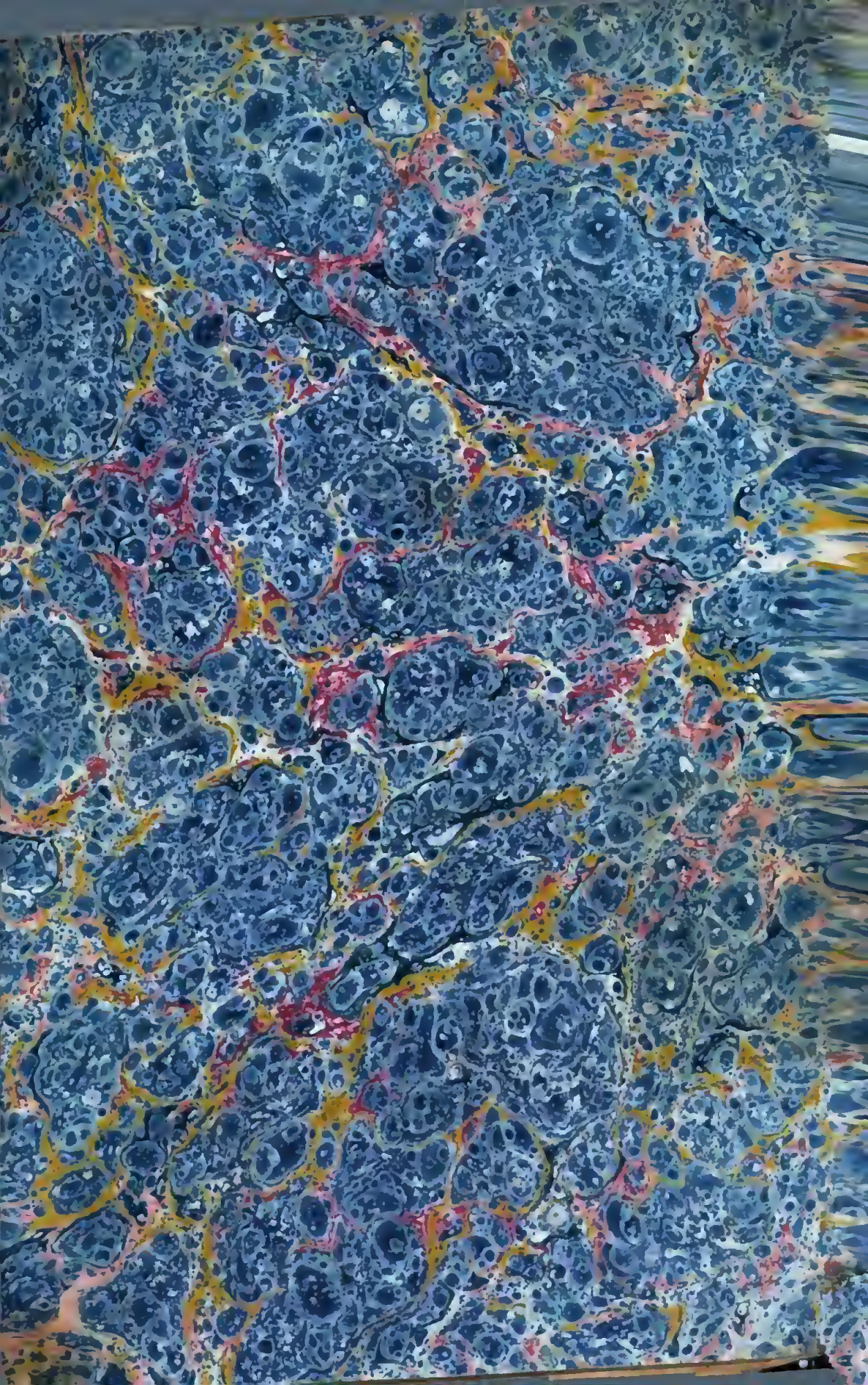
BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

Palchetto

Num° d' ordine 9 15682

NAZIONALE
B. Prov.
L 1
1996
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI



18 D 34

Digitized by Google

B. Prov. II 1995-2

Altro Esemplare a
B. Prov. XXI 177-78

Digitized by Google

Digitized by Google

11261

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DELL'ABATE HAÜY

TRADOTTO SULLA TERZA EDIZIONE
COMMENTATO, E ACCRESCIUTO D'UN'INTRODUZIONE
ALLO STUDIO DELLA MECCANICA

DA

EUSEBIO GIORGI

DELLE SCUOLE PIE.

TOMO PRIMO.

BIBLIOTECA NAZIONALE NAPOLI

ISTITUTO ORIENTALE NAPOLI BIBLIOTECA M. RIPA

BIBLIOTECA PROVINCIALE NAPOLI

FIRENZE
PRESSO GUGLIELMO PIATTI
MDCCCXXV.

Digitized by Google

IL TRADUTTORE.

BIBLIOTECA PROVINCIALE DI NAPOLI

Esaurita l'edizione del Trattato di Fisica del Professor Libes, tradotto, illustrato e commentato dal dotto e rispettabile mio amico e collega P. Baroni, già mio Istitutore in questa Scienza, bisognava per utile della gioventù studiosa, o ristampare quell' Opera, facendovi quei cambiamenti che dieci anni han portato alla Fisica, o sostituirne altra più moderna. Lo stesso P. Baroni distratto da altre cure non poteva riprendere quel primo lavoro. Io dunque riflettendo che il Professor Libes nel suo Trattato elementare detto a ragione Completo, *si estende in teorie, le quali quantunque appartenenti alla Fisica per una reciproca dipendenza con altre Scienze, nondimeno formano rami tali da doversi considerare isolati; e riflettendo di più che presentemente la Chimica in questo nostro paese, come in qualunque altro amante del sapere, è trattata amplissimamente da eccellenti Professori, pensai che sarebbe stato più opportuno un trattato di Fisica propriamente detta, affine di non consumare una porzione preziosa di tempo nell' insegnar dottrine, che i giovani potessero cómodamente apprendere in altre scuole, nello stesso paese, e quindi occupare più fondatamente i giovani stessi nello studio esclusivo di questa Scienza, senza deviarne se non quando lo richiedesse l' associazione talora indispensabile delle fisiche teorie con le chimiche. In un tempo in cui i Trattati di Fisica si presentano al pubblico quasi direi in folla, sarebbe stato forse inopportuno l' aggiungerne un nuovo. Dunque portando sulla scelta d' un autore la mia indicata*

veduta della maggiore opportunità e del maggior utile, avrei pur volentieri prescelto autore nostro italiano, se ai meriti che rendono lodevolissimi molti di questi, non avessi trovata unita o una ristrettezza o un'estensione non combinabili col fine di dare in un anno scolastico un trattato di Fisica generale.

Riunione delle teorie più importanti, chiarezza nell'esposizione delle dottrine, sicurezza nelle dimostrazioni, indicazione delle più moderne scoperte fisiche, e brevità opportuna, tutto questo parvemi trovar riunito nel Trattato Elementare di Fisica *dell'Ab. Haüy, opera adottata anco in Francia dal Consiglio Reale dell' Istruzion pubblica per l'insegnamento nei Collegi. Il nome dell'Autore onora egualmente la Francia e la Società dei dotti; e qualunque elogio che volessimo farne, o sarebbe minore del vero, o almeno sarebbe inopportuno, dacchè non v'è sicuramente amatore delle Scienze naturali che ignori le virtù e il sublime sapere di lui. L'ultima edizione di questo Trattato che egli stesso dette alla luce nel* 1821, *dopo di che fu rapito alla Società e alla Scienza, presenta il carattere di quell' Uomo che tien dietro ad ogni passo della Scienza medesima, facendole fare anzi qualche passo di più, nel qual cammino ben lungi dall' arrestarlo il peso degli anni, lo stimola anzi la passione divenuta abituale di voler tutto sapere, appena la natura mostra un lampo all'umana indagine, e di voler dedurre nuove verità da verità nuovamente scoperte. Questa è l'edizione che io offro tradotta nel nostro idioma alla gioventù studiosa italiana.*

Due erano gli ostacoli che mi trattenevano alquanto in questa mia scelta, che pur mi piaceva per le indicate ragioni. Il primo nasceva dalla teoria dell' Elettricismo, giacchè nella divisione che tuttora sussiste fra le opinioni Frankliniana e Symmeriana, io trovava il nostro Autore seguace della seconda, mentre in Italia e altrove ancora è riconosciuta per più probabile la prima. L'altro ostacolo

derivava dal non avere l'Autore dati fra i suoi precetti nessuni principii di Meccanica, mentre mi sembra che questi servano moltissimo ad aprir la mente alla più perfetta intelligenza dell'altre teorie fisiche, nelle quali, qualunque sieno, si tratta pur sempre di azioni di materia: oltredichè, dovendo ognuno per quanto può servire al sistema dell'Istituto a cui appartiene, io pure doveva avere un tal riguardo, e non omettere questi principii che servono ai nostri giovani d'introduzione allo studio delle matematiche applicate alle Scienze.

Ho creduto di superare il primo ostacolo con alcune note, fissando in queste la base della teoria Frankliniana, secondo le idee del celebre Volta, onore della nostra Italia, e indicando i principii generali che servono come di base alla spiegazione dei principali fenomeni elettrici, senza entrare però in minute particolarità, persuaso che ciò basti per fare agevolmente qualunque particolare applicazione. Ho procurato di vincere il secondo ostacolo, compilando, e trattando col minor uso possibile di calcolo elementare pochi precetti di Meccanica, ma tali però quali in pratica mi è sembrato di vedere, che bastano a far intendere in generale il modo con cui si eseguiscono le azioni della materia o in quiete o in moto, e quindi a diriger le menti dei giovani nell'applicazione di questi principii alle altre fisiche teorie, e che bastano ancora per iniziarli nello studio di questa Scienza; e però ho dato a questo compendio il titolo di Introduzione allo Studio della Meccanica. *Non v'è nulla di originale, ma ho cercato soltanto di attingere da sicuri fonti, come Poisson, Francoeur, Bossut, ec., e di disporre il tutto con ordine e con chiarezza. Ho tralasciato ancora d'indicare da qual Autore precisamente ho presa, o per intero o modificata per brevità o per chiarezza, una tale o tal altra delle dimostrazioni, non tanto per non empir le pagine di citazioni, quanto perchè i conoscitori della Scienza le avvisano sicuramente, e i giovani si persuaderanno*

delle verità con l'evidenza del calcolo, e le verificheranno poi, quando applicandosi più profondamente a questa Scienza, non potranno a meno di non studiare questi sommi autori.

Del resto poche note o aggiunte mi è occorso di fare in quest' Opera, perchè modernissima, e perchè non molte sono state le nuove scoperte o modificazioni di scoperte, nel breve periodo decorso fra la pubblicazione dell'Opera e quella della Traduzione; e per distinguerle dalle note dell'Autore, le ho segnate con numeri. Le poche figure aggiunte e inserite fra quelle dell'Autore, son segnate con lettere; e quelle che servono di corredo all' Introduzione allo studio della Meccanica, formano due Tavole aggiunte, e son segnate con numeri romani.

Sarò contento se con questo mio qualunque lavoro, del genere di quelli in cui tenuis gloria non tenuis labor, *sarò di qualche vantaggio alla studiosa gioventù italiana.*

INTRODUZIONE.

I varii aspetti sotto cui possono riguardarsi i corpi naturali e i fenomeni che essi presentano, hanno dato origine a diversi generi di studio, i quali poi si sono ancora moltiplicati in proporzione dell'aumento delle cognizioni, per cui sono stati accresciuti nuovi rami alle scienze già formate; e la riunione di tutte le dottrine che ne derivano, ha prodotte le tre grandi divisioni a cui è stato dato il nome di *Fisica*, *Chimica* e *Storia naturale*.

Se consideriamo nei corpi alcune proprietà generali e permanenti, o ancora certi cambiamenti passeggieri, che spariscono al cessar della causa che gli ha prodotti; e se inoltre le leggi che determinano le azioni reciproche dei corpi stessi si propagano a distanze più o meno considerevoli, i resultamenti delle nostre osservazioni appartengono particolarmente alla Fisica. Ma quando i fenomeni dipendono da un'interna azione, che le molecole dei corpi esercitano l'une sull'altre a infinitesime distanze, e per cui queste molecole si separano per unirsi quindi in un ordine diverso, e produrre nuove combinazioni e nuove proprietà, lo studio di questi fenomeni spetta alla Chimica. Finalmente, se rivolgiamo la nostra attenzione su quegli esseri particolari, di cui alcuni son dotati di vita e di moto spontaneo, altri vivono, ma privi per se d'ogni attitudine al moto, altri finalmente non hanno che una struttura senza organizzazione; e se il nostro scopo è il disporre in classi e descrivere questi esseri, scorgiamo in un punto di vista tutta la Storia naturale, distinta coi nomi di *Zoologia*, *Botanica* e *Mineralogia*.

Tutte le scienze però che si riferiscono alla natura non compongono in sostanza che una sola e medesima scienza, che è stata poi suddivisa in maniera, che gli studiosi della natura potessero dividersi fra loro i varii rami, e ciascuno percorrere in tutta l'estensione quello che avesse prescelto. Non deve dunque far maraviglia se spesso molte scienze si incontrano presso una medesima verità; cosicchè non v'è scienza che non abbia con un'altra una più o meno stretta relazione. E per addurre un esempio preso da quella che forma il soggetto di questo Trattato, le scoperte moderne sulle proprietà dei gas e del calorico, hanno legato talmente la Fisica con la Chimica, che quella non può assolutamente separarsi da questa, quando si tratta di fenomeni, la spiegazione dei quali appartiene alla teoria dell'aria e del calore; nel qual caso il vero fisico parla il linguaggio del chimico. Lo stesso accade di tutti i rami delle nostre cognizioni, le quali ora divergono, ora convergono, e sempre finalmente si combinano o si confondono, quasi per ricordarci che tutte si riducono alla stessa unità, e che la distinzione che abbiamo posta fra esse, deriva unicamente dai limiti del nostro spirito e del tempo che ci è stato accordato per coltivarle. Esporremo quanto prima il piano che ci siamo proposti, per circoscrivere la Fisica dentro i limiti indicati dallo scopo della nostra Opera.

Nello studio di questa scienza basta solamente che riflettiamo sulla materia che ci circonda, per trovarci davanti all'occhio gli oggetti relativi allo studio della medesima: familiarissima è per noi l'osservazione dei fenomeni che essi producono, e il teatro sul quale questi accadono ci è ognora presente; l'esperienze eseguite coi nostri fisici strumenti, non sono che imitazioni di quei fenomeni stessi, destinate a svelarcene le cagioni. La macchina pneumatica ci mostra le proprietà del fluido che respiriamo: i curiosi effetti d'un apparecchio elettrico ci aiutano a stabilire le leggi con cui opera un fluido condensato in una nube tempestosa: la calamita, che sembra comandare ai varii moti dell'ago d'una bussola presentato alla sua azione, fa per un istante le veci del globo terrestre, che esercita continuamente sull'ago stesso una simile azione; l'immagine colorita del Sole presentataci dalla luce quando è passata a traverso di un prisma, ci dà un'idea della scompo-

sizione che il medesimo fluido soffre nella nube, la quale nel disciogliersi in pioggia, presenta il magnifico spettacolo dell'arco baleno. Tutti questi strumenti variati in moltissime maniere, sono altrettanti interpetri del chiaro linguaggio che ci parla incessabilmente la natura.

Questa parola *Natura*, di cui ci serviamo sì spesso, non deve riguardarsi che come una maniera compendiosa di esprimere ora i resultamenti delle leggi alle quali l'Essere Supremo ha sottoposto il meccanismo dell'Universo, ora la riunione degli esseri esciti dalla sua mano. La natura dunque, riguardata sotto questo vero aspetto, non è più un soggetto di fredda e sterile occupazione per la morale, ma lo studio delle sue produzioni e dei suoi fenomeni, ben lungi dal servire soltanto a rischiarare gli spiriti, commuove assolutamente il cuore, e in esso desta un sentimento di rispetto e di ammirazione alla vista di tante maraviglie, nelle quali apparisce evidente il carattere di un potere e di una sapienza infinita. Tali erano i sentimenti del gran Newton quando, dopo aver considerato come gli effetti son collegati con le loro cagioni, come le parti concorrono all'armonia del tutto, si innalzava fino all'idea d'un Creatore e di un primo Motore della materia, domandando a se stesso per qual ragione la natura non fa nulla in vano, perchè il Sole e i pianeti gravitano gli uni verso gli altri senza l'intermezzo d'alcuna materia densa, e come sarebbe possibile che l'occhio fosse costruito senza la scienza dell'Ottica, e l'organo dell'udito senza la scienza dei suoni (*a*)?

Il vero metodo per giungere alla spiegazione dei fenomeni, è quello che è stato adottato dallo stesso Newton, dal quale son derivati e derivano tuttora tanti rapidi progressi delle scienze. Per fare ben comprendere in che consiste tal metodo, non sarà inutile il determinare in un modo chiaro e preciso cosa si debba intendere per *Teoria*, farne rilevare lo scopo e i vantaggi, e fissare i limiti che la distinguono dal *Sistema*, onde non confondere le produzioni del senno che vede la Natura quale essa è realmente, con quelle dell'immaginazione la quale la fa operare a suo talento.

Lo scopo d'una teoria è il collegare a un fatto generale

(*a*) *Optice lucis*. lib. III. 28.

o al minor numero possibile di fatti generali tutti i fatti particolari che ne dipendono. I nostri primi passi nelle scienze sono stati diretti verso la ricerca dei fatti, procurando di descriverli esattamente, di verificarli e di moltiplicarli. Alcuni di essi apparivano naturalmente a un Intelletto osservatore, altri resultavano da esperienze fatte con quella accuratezza e quella sagacità che son necessarie in simili ricerche. Tutti questi fatti scoperti in epoche diverse e da diversi osservatori, restavano in principio come isolati,e alcuni ancora comparivano paradossi, e sembrava che fossero in contradizione con altri fatti di simil genere. Così l'ascensione dell'acqua nei corpi di tromba, limitata a un'altezza di trentadue piedi, confondeva i Fisici di quel tempo, che attribuivano questa ascensione a un preteso orrore della natura per il voto. Comparve finalmente il grande Uomo riserbato a riunire tutti questi sparsi anelli, e formarne una catena continuata che ne facesse vedere la derivazione e la dipendenza scambievole.

Così la teoria della gravitazione universale riduce tutti i moti celesti, la figura della Terra, e i più imponenti fenomeni della natura a un solo fatto, già confermato dall'osservazione, cioè che la forza della gravità opera in ragione inversa del quadrato delle distanze. Per mezzo di questa legge dimostrata dall'esperienza relativamente ancora alle azioni elettriche e magnetiche, si vede che i varii effetti resultanti da corpi mossi da queste azioni, nascono per così dire gli uni dagli altri, partendo da un'origine comune.

Le parole *attrazione* e *repulsione* usate per indicare i principali fatti su cui è fondata la teoria, non indicano in sostanza se non che le celerità con cui i corpi tendono ad avvicinarsi o ad allontanarsi gli uni dagli altri. Quello che più importa è che, conoscendo la legge con cui procede questa tendenza, e applicando ad essa il calcolo, possiamo determinare tutti gli altri fatti che sono come corollarii del primo; e la teoria stessa ha il vantaggio che per mezzo suo possiamo leggere con certezza nell'avvenire, perchè dopo avere stabilita la derivazione dei fatti, ciò che è accaduto ci illumina su ciò che accaderà; cosicchè il calcolo solo, facendo fare un passo di più alla scienza, può dar vita a un fenomeno che non si sarebbe presentato che dopo una serie di anni.

Digitized by Google

Così l'osservazione e la teoria concorrono egualmente a sviluppare e a render certe le nostre cognizioni, l'una e l'altra spargendo una luce particolare: l'osservazione dirige il suo lume sopra ciascun fatto, onde questo apparisca chiaro e sotto il suo vero punto di vista; la teoria rischiara i fatti in generale, e per mezzo della sua luce si riuniscono tutti questi fatti che nella loro disunione pareva che non avessero alcuna relazione fra loro, prendono, come suol dirsi, una fisonomia di famiglia, e sembra che non sieno se non altrettante facce diverse d'un sol fatto.

Ora chiaro apparisce quanto il sistema differisca dalla teoria. Ma osserviamo primieramente che la parola *sistema* può usarsi in un senso favorevole per indicare una disposizione d'oggetti relativi alle scienze. I Geometri se ne servono per indicare un'unione di corpi, le azioni scambievoli dei quali si combinano: nel linguaggio fisico, per sistema si intende l'ordine dei corpi celesti intorno a un centro comune; e i naturalisti hanno essi pure i proprii sistemi che consistono in una distribuzione metodica di esseri, adattata a facilitarne lo studio.

Il sistema, nel senso in cui lo prendiamo noi per escluderlo dalla Fisica, consiste in una supposizione puramente gratuita, secondo la quale ognuno vorrebbe spiegare tutto l'andamento della natura, come un vortice, un effluvio di materia sottile, o qualunque altra cosa, poichè tutto è possibile per l'immaginazione. Per mezzo di simili supposizioni, che si portano sempre al di là dei fatti osservati, si dà una spiegazione di tutte le cose, ma in una maniera debole e incerta, che per altro soddisfa in certo modo, perchè tanto è facile concepirla quanto immaginarla. Così il sistema procede a caso soltanto, errando sempre tra i *forse*, incapace di annunziare alcun fatto con quella precisione e con quel rigore che forma il carattere della teoria: in somma il sistema è il romanzo della natura, e la teoria ne è la storia, e storia tale che senza mai mancare alla fedeltà e alla verità, abbraccia nel tempo stesso il presente, il passato e il futuro.

Diamo ora un'idea dell'ordine che abbiamo seguito nella distribuzione delle materie che formano il soggetto di questo Trattato, limitandoci ad accennare soltanto le cose più notabili.

Esporremo primieramente le proprietà più generali e più naturali dei corpi, considerati come semplici riunioni di particelle materiali: tale è la mobilità, nel parlar della quale daremo la nozione della celerità e dell'inerzia, e tale è ancora la divisibilità, o la facoltà che hanno i corpi di poter esser divisi in parti sempre più piccole.

Considereremo quindi quella forza chiamata *attrazione*, dalla quale dipendono quasi tutti i fenomeni. E primieramente tratteremo dell'attrazione a grandi distanze, ossia della gravità, sviluppando le leggi a cui è soggetta la caduta dei corpi: accenneremo i mezzi ingegnosi, coi quali il celebre Cavendish è giunto a misurar gli effetti dell'attrazione scambievole che esercitano due corpi l'uno sull'altro, attrazione di cui non ci accorgiamo perchè ne giudichiamo soltanto coi sensi. Parlando della gravità specifica, esporremo il metodo che è stato seguito per stabilire l'unità di peso relativa al nuovo sistema metrico, aggiungendo una tavola compendiosa di tutto il sistema.

Riguardo all'attrazione a piccole distanze, ossia affinità, l'osserveremo solamente per quanto appartiene più propriamente alla Fisica.

Dopo aver citati varii effetti in cui si manifesta la sua esistenza, esporremo il modo con cui si stabilisce il suo equilibrio fra i principii che formano le combinazioni neutre; e ammettendo la verosimile ipotesi che la legge da essa seguita in ragione delle distanze è la stessa per tutti i corpi, proveremo che quando due sali neutri che si mescolano insieme cambiano reciprocamente le loro basi, i nuovi sali che ne resultano devono trovarsi essi pure in uno stato neutro, come apparisce dall'osservazione. Paragoneremo quindi l'affinità con la gravità, ed esporremo un'idea del celebre Laplace, per cui potrebbero riferirsi tutte e due allo stesso principio. Termineremo questo articolo con un compendio della teoria relativa a uno dei più notabili resultamenti dell'affinità, cioè l'ordine simmetrico delle molecole d'una moltitudine di corpi naturali, sotto forme simili a quelle dei poliedri di Geometria.

Considerata questa forza, passeremo ad osservar quella del calorico che compensa più o meno l'effetto dell'affinità, e talvolta in fine la distrugge. Prima di tutto daremo un'idea

delle varie modificazioni del calorico o abbandonato a se stesso quando esercita la sua forza radiando, o quando imprigionandosi nei corpi passa allo stato di calorico parte sensibile e parte latente. Spiegheremo come il suo equilibrio si stabilisce e si conserva relativamente a varii corpi posti in uno stesso luogo, e come la capacità del calorico e la facoltà conduttrice contribuiscono al passaggio allo stato d'equilibrio: applicheremo quindi questa teoria a diversi effetti, fra i quali distingueremo principalmente quelli che si manifestano nelle belle esperienze di Rumford e di Leslie.

Il Dott. Wels celebre Fisico inglese ha ultimamente riconosciuta un'azione analoga a quella del calorico nella produzione di uno dei più ordinarii fenomeni della meteorologia, cioè nella rugiada rassomigliata un tempo alla pioggia, e di cui lo stesso Fisico ci darà la vera spiegazione, fondata sul radiar del calorico che emerge dalle piante nelle notti calme e serene. Torneremo quindi a parlare del calorico specifico di cui avremo già data un'idea, e indicheremo il modo di paragonarlo nei diversi corpi per mezzo del calorimetro.

In un altro articolo mostreremo gli effetti del calorico per produrre nei corpi un cambiamento di stato, dando a questa dimostrazione il necessario schiarimento. Prendendo l'acqua per termine di comparazione, faremo vedere come le variazioni nel rapporto fra la forza del calorico e quella dell'affinità, producono la conversione dei solidi in liquidi, dei liquidi in fluidi elastici, e il ritorno di questi allo stato primitivo. Confermeremo questa teoria, facendone l'applicazione a varii fenomeni, dei quali uno dei più notabili è quello che resulta da un'esperienza di Leslie, nella quale l'acqua gela in un momento per effetto d'un'accelerata evaporazione.

Dopo alcune particolari osservazioni sulla differenza fra l'azione della compressione e quella del raffreddamento, esamineremo una legge la quale è importantissima per le sue applicazioni, cioè quella con cui i fluidi elastici variano di volume per causa della pressione. Descriveremo primieramente l'esperienze di Boyle e di Mariotte sull'aria considerata come produttrice dei fenomeni, dalle quali essi hanno concluso, che questo fluido si comprime in ragione inversa

del peso da cui venga aggravato. Questo resultamento ci condurrà a esporre un'idea di Newton sulla quantità di calorico che si sprigiona da un fluido elastico, o che viene assorbito da questo fluido a motivo d'un noto cambiamento di temperatura.

Osserveremo quindi alcuni fenomeni, i quali non servono che a mostrare sotto un nuovo aspetto la legge di Mariotte, con l'intervento del calorico. Indicheremo i mezzi usati da Amontons per misurare l'aumento d'elasticità che riceve l'aria fra due limiti noti di calore; al qual argomento daranno una più estesa spiegazione le applicazioni che ne hanno fatte Dalton e Gay-Lussac, l'uno a Londra, l'altro a Parigi, sperimentando sui vapori e sui gas solubili, e prendendo per limiti della temperatura il grado del ghiaccio che si fonde, e quello dell'acqua bollente. Vedremo finalmente questo stesso soggetto nel suo più generale aspetto, quale ci vien presentato da Gay-Lussac, Dulong e Petit per mezzo di nuove ricerche, dalle quali apparisce che le dilatazioni di tutti i gas e di tutti i vapori sono similissime fra loro; e finiremo col cercare la gravità specifica dei fluidi elastici, prendendo l'aria per unità.

In tale occasione torneremo a parlare della teoria del calorico, dipendente dalle variazioni di temperatura, onde citare molti esempii di dilatazioni e di contrazioni relative ad alcuni corpi solidi; e nel considerare gli effetti che la stessa causa produce sui liquidi, avremo occasione di esporre i principii sui quali si fonda la costruzione del termometro, le condizioni richieste per la perfezione di questo strumento, e l'esperienze le quali ci convincono che il termometro a mercurio riunisce tutte queste condizioni. Esporremo parimente il metodo particolare con cui Gay-Lussac e Dulong, con la più rigorosa precisione hanno stabilita la dilatazione assoluta del mercurio fra 0° e 100°, per ogni grado centesimale, e compiremo il quadro di tutto ciò che riguarda questo soggetto così importante, con la descrizione del termometro metallico, inventato da Breguet, e che è doppiamente stimabile per la sua ingegnosa costruzione, e per la sua massima sensibilità.

La teoria dell'evaporazione è divenuta una diramazione di quella del calorico, in conseguenza d'un più profondo

studio su questo fenomeno. Primieramente faremo vedere un effetto che costantemente si osserva nella formazione del vapore dell'acqua, cioè che esso è sempre eguale in uno spazio dato e a una data temperatura, tanto se questo vapore occupa solo tutto lo spazio, quanto se vi è mescolato con l'aria o con qualche gas: svilupperemo la legge con cui, sotto una data pressione, un gas si dilata a misura che si forma il vapore. Seguendo l'andamento del fenomeno, giungeremo gradatamente alla difficile determinazione dell'influenza reciproca dell'aria e del vapore, quando questi due fluidi son mescolati insieme. Dopo aver esposte le teorie di Leroi, di Dalton e di Deluc, relative a questo delicato soggetto, svilupperemo il modo con cui l'ha concepito Laplace, riducendo tutto all'azione del calorico, la quale fa sì che le molecole dell'aria e quelle del vapore si respingono scambievolmente, col che il fenomeno diviene pienamente intelligibile.

Da queste cognizioni che appartengono propriamente alla Fisica generale, passeremo a quelle che riguardano la Fisica particolare, e che si riducono a certi liquidi o a certi fluidi, notabili per la loro influenza sopra una moltitudine di fenomeni naturali.

Il primo di questi fluidi è l'acqua, che considereremo primieramente nel suo stato più ordinario, cioè nello stato liquido; e questa considerazione ci aprirà la strada ai principii di Igrometria, e a spiegare secondo la teoria di Laplace i fenomeni dei tubi capillari, e le attrazioni e repulsioni apparenti dei piccoli corpi che galleggiano sull'acqua a piccola distanza fra loro. Quindi osserveremo l'acqua nello stato di ghiaccio; e in quest'occasione faremo la storia della congelazione del mercurio, indicando il vero grado di freddo al quale essa corrisponde. Finalmente tratteremo dell'acqua nello stato di vapore, indicando come l'industria umana ha saputo trarre partito dalla forza elastica che l'acqua esercita in questo stato, per applicarla come forza motrice alle macchine a vapore.

Porteremo quindi la nostra attenzione sulle proprietà dell'aria: ne osserveremo la gravità, l'elasticità, gli effetti della sua pressione per far salire e scendere il mercurio nel tubo del barometro, per elevar l'acqua nei corpi di trombe,

e per mettere in azione lo stantuffo. La legge con cui scemano le densità dell'aria, a misura che i suoi strati son più lontani dalla superficie della Terra, ci insegnerà il metodo di misurare l'altezze per mezzo del barometro. Passeremo quindi alle varie modificazioni che può soffrir l'aria, produttrici dei venti e delle meteore acquee; dando però dei venti un'idea soltanto generale, giacchè le nostre cognizioni su questo soggetto sono ben poco estese; e solamente del vento *Est* troveremo la causa nella dilatazione dell'aria rarefatta dall'azione del Sole. Torneremo quindi a considerar l'atmosfera come sede dei vapori, provando che se essa non esistesse, la quantità di vapori in un dato spazio e in circostanze eguali sarebbe minore. Combinando le precedenti notizie, spiegheremo la formazione delle tempeste, delle nuvole, della neve, della pioggia, e esporremo le belle osservazioni del celebre Saussure sul vapore vescicolare, dalle quali ha tratta la spiegazione di alcune delle citate meteore; e finalmente, per compire tutto ciò che appartiene a questo argomento, vedremo come dall'evaporazione abbiano origine le fontane. Dopo aver osservate tutte queste proprietà generali dell'aria, daremo la storia della scoperta che ha procurato all'Uomo l'arte fin allora sconosciuta di elevarsi in questo fluido, e di viaggiarvi per mezzo dei globi aerostatici.

Considereremo finalmente l'aria come conduttrice del suono, in forza delle vibrazioni dei corpi sonori che producono in essa un moto da cui nascono i suoni comparati, stabiliremo la serie dei rapporti sui quali è formata la nostra scala musicale, additando l'esperienza sui suoni armonici attribuita a Sauveur. Paragoneremo la scala del corno da caccia con quella che è in uso presentemente, e che deriva dall'accordo perfetto, adducendo le ragioni per cui sembra che questa abbia la preferenza su quella, e accennando in fine qualche particolarità sul temperamento del suono. Il modo con cui il suono si forma negli strumenti a fiato ci servirà a spiegare come esso si propaga a traverso d'un'aria libera, e come differenti suoni passano per questo fluido senza disturbarsi scambievolmente, e fanno provare all'organo dell'udito varie impressioni nel tempo stesso, ma tutte distinte.

Dopo aver considerato gli effetti del moto vibratorio negli strumenti, l'uso dei quali è riserbato all'arte musicale, passeremo a spiegare i fenomeni prodotti in forza del medesimo moto da certi corpi sui quali Cladni ha fatto tante esperienze importanti per la fisica. Fra questi corpi gli uni son verghe di metallo o di qualunque altra materia rigida, e gli altri son lastre di vetro o di metallo. In quanto ai primi indicheremo soltanto il modo di servirsene; e relativamente ai secondi ci estenderemo sugli effetti che ci mostrano le lastre quando premendole fra due dita, e fregandole con un arco su qualche punto degli orli, vediamo disporsi in figure più o meno composte quella polvere che era stata sparsa sopra esse. Quelle che noi scegliemmo per far l'esperienze ci presentano due sole figure, cioè il quadrato e il circolo. Abbiamo disposto l'esperienze in un ordine metodico, per cui chiunque può paragonarle fra loro, e rilevarne le relazioni e le differenze; e nel descrivere queste esperienze siamo entrati in tutte le particolarità opportune per renderle facili a chiunque desiderasse verificarle. Nell'ultimo articolo vedremo queste medesime esperienze collegarsi con l'arte della musica, da che il Dottor Savart, si è servito ingegnosamente di esse per perferzionare la costruzione degli strumenti a corda, rendendoli ancor più piacevoli.

Venendo ad esporre i fenomeni elettrici, daremo alla spiegazione di questo ramo di Fisica un'estensione proporzionata alla sua importanza. E primieramente tratteremo dell'elettricismo prodotto per confricazione e per comunicazione; e dopo aver mostrato la diversità che passa fra varii corpi, relativamente ai due modi d'elettrizzazione, proporremo l'ipotesi di due fluidi che con l'azione loro combinata concorrono alla produzione dei fenomeni, sembrandoci questa la più favorevole e più semplice ipotesi.

Mostrate alcune particolarità che presentano alcuni corpi elettrizzati per mezzo di confricazione, esporremo un'esperienza immaginata dal Professor Libes, nella quale un disco metallico isolato, applicato sopra un drappo verniciato, si trova elettrizzato resinosamente quando ne vien separato, mentre il drappo è in stato di elettricismo vitreo. Indicheremo quindi una proprietà differente che hanno molti minerali, d'acquistare la virtù elettrica per mezzo di una

semplice pressione fra due dita, proprietà cui possiede in sommo grado lo spato d'Islanda, il quale, toccato soltanto, manifesta sensibilissimamente questa proprietà; e questo fatto ci aprirà la strada a dimostrare la differenza che passa fra la confricazione e la comunicazione, relativamente alla produzione dell'elettricismo.

Coulomb ha scoperte il primo le leggi con cui procedono le azioni elettriche. Descriveremo lo strumento chiamato *bilancia di torsione* col quale egli fece questa scoperta, ed esporremo la bella esperienza con la quale ha dimostrato che l'azione esercitata reciprocamente da due corpi elettrizzati, è in ragione inversa dei quadrati delle distanze.

Quasi corollario di questa esperienza se ne presenta un'altra, con cui si prova che il fluido libero il quale tiene un corpo conduttore in stato elettrico, è sparso intorno alla sua superficie, senza che ne esista alcuna porzione nell'interno. Altre esperienze proveranno che il fluido elettrico non ha veruna affinità per un corpo, di qualunque natura esso sia.

In quanto al modo con cui il fluido elettrico si distribuisce tanto sulla superficie d'un solo corpo, quanto fra corpi diversi a contatto fra loro, Coulomb l'aveva determinato solamente in conseguenza di osservazioni particolari; ma poichè Poisson l'ha generalizzato, seguendo noi il sublime metodo da esso tenuto, lo presenteremo e in esperienza e in teoria. Primieramente osserveremo ciò che accade in un sol corpo elettrizzato, nel caso in cui esso da una supposta figura sferica primitiva passi gradatamente a una figura cilindrica: quindi esporremo il caso di due sfere di diverso diametro, sottoposte all'influenza l'una dell'altra; e supponendo che si lascino in principio a contatto e poi si separino, indicheremo la diversità con cui si distribuiscono i fluidi sparsi sulla loro superficie.

Riguarderemo quindi sotto due diversi aspetti la resistenza che due corpi isolatori oppongono con la loro forza coibente alla perdita del loro elettricismo: il primo è relativo all'esperienze fatte da Coulomb per conoscere gli effetti di due cagioni che contribuiscono a questa perdita, cioè il contatto dell'aria, e i sopporti o sostegni: il secondo suggerisce una suddivisione dei corpi naturali, tratta dai di-

versi gradi della forza loro coibente, la quale produce tali effetti, per cui la virtù elettrica osservata in questi medesimi corpi varia talmente, che la sua durata ora è di pochi minuti, ora di molti giorni.

Negli articoli che conseguono vedremo ciò che si rileva da una numerosa serie d'esperienze nelle quali si combinano le azioni elettriche di due corpi; argomento vasto e tanto più degno d'attenzione, quanto che in esso si trovano riunite tutte le diverse maniere con cui si presentano le attrazioni e repulsioni elettriche, la spiegazione delle quali sarà come la chiave di quasi tutta la teoria dell'elettricismo. Principieremo dall'osservare l'equilibrio che esiste fra due corpi quando sono nello stato naturale; e supponendoli quindi passati allo stato elettrico, indicheremo i varii effetti che ne derivano quando l'elettricismo di essi è omogeneo e quando è eterogeneo, quando tutti e due son conduttori o isolatori, e quando finalmente uno è conduttore e l'altro isolatore. Esponendo l'ipotesi in cui uno dei due corpi è elettrizzato e l'altro in stato naturale, mostreremo in qual modo, nel caso di due elettricismi omogenei, può accadere che la repulsione si cangi in attrazione; e termineremo col considerare le attrazioni e le repulsioni scambievoli di due corpi isolatori, le due parti dei quali operano in modo contrario in conseguenza della scomposizione che ha sofferta il fluido naturale dei medesimi corpi, e della distribuzione di esso nel loro interno.

I principii esposti precedentemente ci serviranno a spiegare la facoltà che hanno alcuni corpi conduttori terminati in punta, di attrarre o di mandar fuori con forza il fluido elettrico; e con gli stessi principii spiegheremo in generale la scossa che accompagna l'esperienza di Leida, per considerar poi più particolarmente l'aumento progressivo dei due elettricismi sulle due superficie della boccia, dal momento in cui principia a elettrizzarsi, fino al punto in cui viene scaricata. Descriveremo la maniera di ripetere l'esperienza stessa col quadro fulminante, di moltiplicarla per mezzo della scarica per cascata, e finalmente di terminarla con una violenta esplosione, sostituendo alla boccia una batteria elettrica. In fine daremo la descrizione di varii strumenti parti-

colari, come l'elettroforo, il condensatore, l'elettrometro di Cavallo e l'elettrometro condensatore.

Passeremo quindi all'elettricismo naturale ed esporremo le osservazioni che hanno servito a provare l'identità del fluido elettrico e della materia del fulmine, la teoria dei parafulmini, con alcune riflessioni sui vantaggi di questi strumenti, e la teoria di quell'effetto singolare conosciuto sotto il nome di *contraccolpo*, per cui un individuo può esser colpito dal fulmine lungi ancora dal luogo dell'esplosione.

Da che il celebre Volta ha riguardata la grandine come un effetto dell'elettricismo naturale, facilmente si comprende il modo con cui essa si forma, mentre ne era tanto difficile l'intelligenza, supponendo con gli antichi Fisici che i suoi grani si accrescessero nel tempo della loro caduta sulla terra. Appoggiati alla teoria del Fisico italiano, spiegheremo come questi grani giungano a una grossezza qualche volta molto considerevole restando nello spazio in cui si son formati, o dove son trattenuti dalle attrazioni e repulsioni di due nubi elettrizzate in modo contrario.

Vi sono alcuni minerali cristallizzati che si elettrizzano per mezzo del calore; e ci sembra degna di esser considerata l'azione elettrica di questi corpi, la virtù polare che nasce dalla distribuzione dei due fluidi nell'interno di essi, e la relazione che è stata osservata fra le forme dei vertici di loro, e le situazioni dei poli nei quali riseggono le due specie d'elettricismo. Da queste particolarità prenderemo motivo per esporre il modo con cui abbiamo trovato che a un grado di temperatura più basso di quello a cui principiano queste azioni, rinasce la virtù polare in questi corpi, se non che i loro poli si sono rovesciati. Indicheremo alcune circostanze in cui si può osservare il passaggio da uno stato all'altro, sottoponendo successivamente uno di questi corpi al calor del fuoco e alla temperatura dell'aria circostante.

Si presenterà quindi alla nostra osservazione il nuovo ramo di Fisica conosciuto sotto il nome d'*elettricismo galvanico*, che ha il suo vero principio nel fenomeno scoperto da Volta, d'un elettricismo eccitato dal semplice contatto di due metalli diversi. Esporremo primieramente le esperienze fatte da Galvani sugli animali a sangue freddo,

e le conseguenze che ne derivarono: quindi svilupperemo la teoria che il Fisico di Pavia ha saputo combinare, appoggiandosi sul semplice ma fecondo principio, che due metalli isolati, messi a contatto, restano costituiti in due stati diversi d'elettricismo; ed applicheremo questo principio alla formazione della pila di Volta, e ai diversi effetti che essa produce tanto isolata, quanto in comunicazione col serbatoio comune: osserveremo pure questi medesimi effetti nelle pile secondarie inventate da Ritter; e quindi in conseguenza delle scoperte del celebre Erman, esporremo i fenomeni che nascono in certe sostanze, come la fiamma d'alcool e il sapone alcalino, che relativamente all'elettricismo galvanico hanno una facoltà conduttrice particolare. Di qui passeremo alle osservazioni fatte sui pesci elettrici come la torpedine, le proprietà della quale già conosciute da molto tempo sembra che derivino da una struttura analoga alla disposizione degli elementi della pila. Faremo quindi vedere come l'elettricismo galvanico collegato per una parte con l'economia animale, è divenuto soggetto di Chimica per mezzo del fenomeno della scomposizione dell'acqua; ma indicheremo soltanto quei resultamenti dell'esperienza che furono come una conseguenza di questo, e che si son palesati nell'azione della pila diretta dal celebre Davy, poichè la natura del nostro trattato non ci permette di estenderci di più. Vedremo quanto vantaggiosamente gli acidi mescolati con l'acqua interposta fra i metalli, contribuiscano agli effetti dell'apparecchio galvanico, che è un composto di tutti questi elementi, e termineremo col porre sotto un sol punto di vista tutte queste osservazioni che riuniscono tutti i fenomeni in modo da far apparire con evidenza che l'elettricismo galvanico non è che una modificazione dell'elettricismo ordinario.

La somiglianza che passa fra le leggi a cui son soggette le azioni della calamita e quelle dei corpi idio-elettrici, pone naturalmente la teoria del magnetismo accanto a quella dell'elettricismo. Relativamente ancora ai fenomeni magnetici, supporremo l'esistenza e l'azione contemporanea di due fluidi differenti; se non che, nello sviluppare questa teoria, dovendo spesso far riflettere sull'azione magnetica esercitata dal globo terrestre, prima di tutto daremo un'idea di questa azione e di certi fatti generali che ne dipendono. Esporremo

quindi il metodo con cui è stato provato che i fenomeni magnetici ancora procedono per legge costante in ragione inversa dei quadrati delle distanze, egualmente che i fenomeni elettrici. Di qui passeremo alla spiegazione degli effetti delle calamite: descriveremo le esperienze le quali provano che due di questi corpi si attraggono in ragione inversa del quadrato della distanza, con i poli di diverso nome, e si respingono secondo la medesima legge con i poli di egual nome; e dopo aver fatto riflettere all'analogia che ne resulta fra queste azioni e quelle che esercitano i due fluidi elettrici separati l'uno dall'altro nelle tormaline, esporremo un'altra esperienza che ha per fine il riunire le due specie d'azione in un sol corpo, disponendo l'apparecchio destinato a questa esperienza in modo, che il corpo abbia nel tempo stesso due poli magnetici e due poli elettrici, provenienti dalla scomposizione dei due fluidi anticipatamente imprigionati nelle sue proprie molecole. Rischiareremo i paradossi apparenti che si osservano in alcuni di questi effetti, e specialmente quello che si osserva in un pezzo di calamita, che staccato dal resto diviene una calamita esso medesimo con i suoi due poli. Applicheremo quindi i principii della teoria ai varii metodi di calamitare, e specialmente a quello del doppio contatto, analizzandolo nei suoi effetti, e indicando il modo di adoprarlo. Può accadere che l'azione del magnetismo naturale, per conservare un ago calamitato nella sua direzione, sia maggiore dell'azione di una piccoliasima porzione di ferro nascosto in un corpo che sia presentato a questo ago, e in tal caso esso resterà immobile; ma faremo vedere che v'è un mezzo semplicissimo di mettere questo ago in equilibrio, e di renderlo sensibile a quest'azione.

Nell'articolo seguente osserveremo più particolarmente la declinazione e l'inclinazione dell'ago calamitato, il modo con cui l'una e l'altra variano al variar di luogo e di tempo, e quei cambiamenti che sono stati osservati nell'intensità delle forze che esercitano un potere su questo ago. Esporremo una moderna esperienza del Capitano Parry, la quale conferma l'opinione, che i due centri d'azione magnetica del globo son posti a distanze considerevolissime dal centro di sfericità; e dopo avere spiegato alcuni fatti relativi alla forza direttrice dell'ago, o all'eguaglianza delle forze che lo attraggono

in parte contraria, svilupperemo i fenomeni singolari che produce il magnetismo del globo, esercitando un'azione sugli strumenti di ferro non calamitato che maneggiamo, o che sono vicini a noi; ma però non lasceremo di indicare alcune circostanze, in cui il magnetismo acquistato dal ferro, sembra che dipenda da una forza puramente meccanica, come la pressione o la percossa. Citeremo inoltre le osservazioni le quali provano che l'azione del fulmine è capace di sviluppare nel ferro la virtù magnetica, e indicheremo il modo di ottenere lo stesso effetto per mezzo d'una scarica elettrica. Aggiungeremo alcune particolarità sullo stato del magnetismo abituale prodotto dall'azione del globo nelle miniere di ferro che esistono nel seno della terra; quindi accenneremo l'esperienze per mezzo delle quali sono stati riconosciuti gli effetti del magnetismo nel Cobalto e nel Nikel, e i mezzi precisi con cui il dotto nostro collega Logier ha potuto ottenere il Nikel più puro di quello ottenuto dai chimici prima di lui. Termineremo tutto ciò che riguarda il magnetismo con alcune considerazioni generali, tendenti in parte a presentare un ristretto delle diverse ipotesi immaginate dai fisici sulla causa di quella forza magnetica che risiede nel globo terrestre, e in parte a stabilire un paragone dei fluidi elettrico e magnetico, osservati relativamente al modo con cui operano, e alle funzioni che esercitano.

Dopo il magnetismo considereremo l'azione della pila galvanica, gli effetti della quale, attribuiti in principio a un fluido particolare, saranno determinatamente riuniti con quelli dell'elettricismo. Dopo aver descritto le scoperte importanti del celebre Oersted, che ha accresciuto un nuovo ramo alla Fisica, faremo vedere come Ampére e Arago hanno ripetute e aumentate le osservazioni sulle tracce del Fisico danese, ed esporremo particolarmente come il primo abbia ottenuto dalle sue ricerche il modo di rappresentare con espressioni geometriche gli effetti delle attrazioni e repulsioni osservate nelle nuove esperienze, aspettando che con l'avanzarsi della Scienza essi appariscano soggetti alle conosciute leggi dell'elettricismo e del magnetismo.

Abbiamo riserbato per il fine dell'Opera la più delicata fra tutte le teorie, cioè la teoria della luce. Discuteremo

primieramente le due opinioni, l'una delle quali fa consistere questo fluido in un'emanazione dei corpi luminosi, e l'altra lo suppone sparso in tutta la sfera dell'universo, e dotato di un moto di vibrazione comunicatogli dai corpi stessi; e daremo la ragione per cui la prima opinione è preferibile alla seconda. Vedremo come è stata misurata la celerità della luce, e dopo queste prime nozioni descriveremo l'aurora boreale, considerata come un semplice fenomeno di luce, e di cui non è ancora stabilita la causa. Esporremo quindi le leggi della reflessione e della refrazione della luce, e i cambiamenti che si osservano nelle particolari direzioni dei raggi reflessi da superficie curve, o refratti a traverso di simili superficie; e indicheremo le situazioni dei fuochi tanto reali quanto immaginarii che hanno luogo in questo caso. Esaminando più profondamente questo argomento, osserveremo quali rapporti abbiano fra loro la refrazione e la reflessione, e come fisicamente possa spiegarsi e l'uno e l'altro fenomeno per mezzo di un'azione analoga a quelle che operano a piccolissime distanze. Quest'azione dipende da una forza che Newton chiama *potere refrangente*, e quindi, seguendo le regole di lui, indicheremo il modo di sottoporla al calcolo, e faremo vedere i resultamenti per mezzo dei quali egli aveva letto in qualche maniera nelle leggi della refrazione, combinate con la densità dei corpi, che il diamante era combustibile, e che l'acqua conteneva un principio infiammabile; e noi pure proseguiremo ad osservare il primo di questi effetti, e citeremo le esperienze dirette che l'hanno confermato. Di qui passeremo ad esporre alcune cognizioni acquistate sulla natura del diamante, che per mezzo dell'analisi era sembrato ad alcuni chimici composto di carbonio puro, mentre la Fisica si opponeva a queste analisi con certe induzioni dedotte da una teoria, che considerata in se stessa era importantissima, e che indicava nel diamante la presenza di un terzo d'idrogene. Esporremo quindi ciò che hanno ottenuto con le ricerche loro Guyton Morveau e il celebre Davy per verificare quell'opinione, e vedremo che hanno concluso che il carbonio è l'unico elemento del diamante.

Annunzieremo in seguito le scoperte di Newton sulla natura della luce, considerata come un composto d'infiniti raggi diversamente refrangibili, e che nei loro colori presentano una

gradazione insensibile di varietà che si riducono a sette specie principali. Questa verità scoperta per mezzo del prisma ci renderà chiara la spiegazione data dal geometra inglese della maniera con cui si forma l'arco baleno, la spiegazione del fenomeno degli anelli colorati, e le conseguenze da lui stesso dedotte relativamente ai colori naturali di varii corpi, e alla differenza fra i trasparenti e gli opachi. Per mezzo d'un'altra ingegnosa costruzione immaginata pure da Newton, faremo vedere in che consistano quei colori chiamati *accidentali*, e come in certe circostanze la sensazione di un colore composto si muta in quella del colore che produrrebbero soli certi raggi, presi fra quelli che compongono la mescolanza.

Da queste osservazioni passeremo ai fenomeni appartenenti alla visione; e dopo aver descritta la struttura dell'occhio, considereremo primieramente questo organo quando, guidato dal tatto, acquista un esercizio che divien poi come il fondamento delle regole con le quali giudichiamo della forma, della grandezza e della distanza degli oggetti. Spiegheremo quindi come la mancanza di alcune delle condizioni volute dalle stesse regole inganni l'occhio con quegli errori che sono stati chiamati *inganni ottici*, e specialmente con quello che ci fa sembrare la luna di maggior grandezza sull'orizzonte che sul meridiano, e con quello che nasce da un disordine apparente delle stelle, che si chiama *aberrazione*. Accenneremo finalmente un'illusione d'un altro genere, e che non è meno singolare, cioè quella chiamata dai marinari *fata-morgana*; ne svilupperemo la teoria quale esiste nella bella memoria pubblicata su questo argomento dal celebre Monge, che essendo in Egitto osservò spesso il fenomeno che la produce.

Dopo aver osservati gli effetti della vision naturale, osserveremo quelli della visione aiutata dall'arte. Le leggi della reflessione ci faranno concepire come si producono le immagini degli oggetti quali ce le presentano tanto gli specchi piani, i quali rendono fedelmente le immagini, quanto i concavi o convessi che ne fanno variare le forme, le grandezze e le distanze. Osserveremo quindi gli effetti della luce refratta relativamente alla visione; e primieramente supponendo un mezzo refrangente con superficie piana, e un punto

radiante posto nel suo interno, tratteremo della questione relativa al modo di stabilire il pnnto di concorso immaginario dei raggi, che dopo esser partiti dal punto radiante, si disperdono in forza della refrazione, passando in un mezzo differente. Dopo avere applicata la teoria alla stessa visione degli oggetti posti nell'acqua, esporremo un fenomeno singolarissimo, che dipende da qnella proprietà che si chiama *doppia refrazione*, la quale si osserva in alcune sostanze, a traverso delle quali, in alcnne circostanze si vedono due immagini d'un oggetto stesso situato fra esse e la luce. Considereremo specialmente questo fenomeno nei romboidi di *calce carbonata*, ossia *spato d'Islanda*, e descriveremo le diverse circostanze che lo modificano, secondo che guardiamo le immagini a traverso di un solo romboide o di due romboidi soprapposti; e indicheremo il motivo per cui per più d'nn secolo è stata ritardata la cognizione della scoperta fatta dal celebre Huygens sulla vera maniera di rappresentare geometricamente la legge a cui è soggetto questo fenomeno. Per mezzo d'un'importante esperienza di Biot, faremo vedere come la teoria fondata su questa legge s'applica alle varie sostanze dotate della medesima proprietà, e come per mezzo di questa esperienza Biot stesso ha potuto distinguere dne specie di *doppia refrazione*, che egli chiama l'una *attrattiva*, l'altra *repulsiva*; e relativamente a ciascuna sostanza esporremo il metodo di trovare con precisione la linea che si chiama *asse di doppia refrazione*, e termineremo con una suddivisione dei corpi naturali, dedotta dai diversi gradi di forza di tal proprietà.

Quindi esporremo brevemente l'altro fenomeno della *diffrazione della luce*, di cni il dotto Fresnel ha data una bellissima spiegazione; e cercheremo di provare che l'applicazione che egli ha fatto del sistema delle ondulazioni nel modo con cui vien prodotto il fenomeno, non è un motivo per abbandonare il sistema dell'emissione stabilito da Newton, e da noi in quest'opera adottato.

Esamineremo le belle ricerche di Malus e Arago, con le quali essi hanno aperto una nuova strada alla fisica della luce, in un argomento che pareva esaurito dal fisico inglese. Faremo vedere in che consiste la proprietà che ha formato il soggetto di queste ricerche, la quale è stata nominata *polariz-*

zazione della luce. Esporremo quindi i nuovi effetti osservati in questo fenomeno dai due citati autori, i rapporti che li uniscono fra loro, e la differenza notabile che li distingue, cioè che nell'esperienze di Malus, la luce conserva la sua bianchezza, e in quelle di Arago varia con una successione di tinte che servono di compimento l'una dell'altra. Descriveremo poi le diverse modificazioni delle quali può esser capace la luce polarizzata, secondo le diverse situazioni in cui si pone l'apparecchio che si usa nelle esperienze, o secondo i diversi moti che gli vengono impressi; e termineremo con una nozione della teoria proposta da Biot, per spiegare i fenomeni della polarizzazione, ammettendo nelle molecole luminose un moto oscillatorio analogo a quello del pendolo, e in certe circostanze un moto di rotazione intorno ai loro centri.

In seguito svilupperemo gli effetti dei vetri semplici, che con la curvatura loro aiutano la nostra vista, o ne rimediano le imperfezioni. La teoria di questi effetti ci condurrà a spiegare quegli strumenti che resultano dalla combinazione di più vetri, come i telescopii e i microscopii, e a indicare come l'arte ha tratto partito dalla refrazione tanto sola quanto combinata con la reflessione, per ingrandire gli oggetti e per avvicinarli: sopra tutto esporremo con chiarezza il principio su cui è fondata la costruzione dei *cannocchiali acromatici*, ritardata per lungo tempo dall'ostacolo che le opponeva l'autorità di Newton, enunciata per la prima volta da Eulero come possibile, e intrapresa quindi con esito felice da Dollond. Finalmente per non tralasciar nulla di quanto è importante per un sì vario argomento, daremo una breve descrizione degli strumenti che producono i loro effetti sopra un piano, che come il fondo d'un quadro si presenta al pennello della luce. Tali sono le camere ottiche, il microscopio solare, la lanterna magica ordinaria, e quelle che con un meccanismo nascosto agli spettatori producono le illusioni della fantasmagoria.

Nel comporre quest'opera, abbiamo avuto in mira di dare un trattato ragionato di Fisica; e quindi abbiamo citato un piccol numero d'esperienze scelte fra quelle che portano a più decise conclusioni, sviluppando quanto basta le conseguenze che ne derivano. Una spiegazione non soddisfa quando

si riduce a principii puramente generali; e le particolarità sono per così dire la pietra di paragone delle teorie, perchè o ne assicurano l'esattezza o ne scoprono la falsità: per mezzo di esse possiamo seguire a passo a passo la natura nei suoi andamenti, rilevare tutte le relazioni che stabiliscono la dipendenza scambievole dei fatti tanto fra loro quanto col fatto che serve di base alla teoria, e finalmente suggeriscono certe idee delicate che danno come l'ultima mano al quadro del fenomeno. Sviluppando gli elementi delle teorie, vengono a riempirsi quei voti di cui ben si accorge chi cerca di penetrare negli arcani delle scienze, e si prevengono certi dubbii che lascerebbero sempre qualche oscurità nella mente.

Trattando in questa maniera un argomento che ha tante e così delicate diramazioni, e che doveva estendersi ad altre cognizioni moderne e poco sparse fin'ora, ci trovammo obbligati a consultare il celebre Laplace, i lumi del quale e le cognizioni che egli stesso ha avuto la compiacenza di comunicarci ci sono state di grandissima utilità in quest'opera. È noto che in mezzo alle sue sublimi ricerche sull'astronomia fisica gli è riuscito di acquistare ancora nei diversi rami di scienze una superiorità, alla quale di rado giunge chi non ne coltiva che una sola; e a tal superiorità appunto, e nel tempo stesso alle sue cognizioni nella più profonda analisi siamo debitori di quella bella teoria dei fenomeni dei tubi capillari, che esporremo con la massima accuratezza in tutte le sue parti. Questo argomento non era stato finora trattato se non superficialmente e in una maniera imperfetta, e a malgrado delle tante opere in cui esso è stato trattato, è restato sempre argomento nuovo per Laplace che l'ha assolutamente esaurito.

Nel riandare con la maggiore attenzione possibile la nostra seconda edizione, prima di por mano a questa, ci è sembrato che se non eravamo arrivati a un punto in cui il nostro lavoro non lasciasse nulla da desiderare, ci eravamo abbastanza avvicinati ad esso per quanto lo permettevano le nostre cognizioni: quindi è che abbiamo ritenuto tutto ciò che non sembrava abbisognare di cambiamento o di modificazione per effetto di qualche nuovo progresso della Fisica in questi ultimi tempi. Dopo un intervallo di quindici anni noi pubblichiamo nuovamente le parti che non sono state

cambiate, e insieme le numerose aggiunte che son l'effetto d'un lavoro moderno; e col massimo impegno abbiamo procurato che nell'unire queste aggiunte al nostro primo lavoro, apparisse meno che fosse possibile che noi facevamo ciò in un'epoca, in cui il declinar dell'età e gl'incomodi che ne sono le conseguenze ci avvertivano che non eravamo più gli stessi di una volta.

Ci lusinghiamo non ostante che i frutti delle nostre ultime ricerche renderanno questa edizione più utile delle precedenti, e che quelli che per inclinazione coltivano la Fisica ci sapranno buon grado per aver noi indicato un piccol numero di apparecchi semplicissimi, che essendo di facile acquisto per la mediocrità del prezzo loro, possono agevolmente soddisfare i desiderii degli studiosi. Questi strumenti serviranno a loro per iniziarsi nell'arte del fisico, e per aver pronti i mezzi di verificare i fatti dei quali avranno lette le descrizioni, di seguirne i progressi, di farli succedere l'uno all'altro per paragonarli, e nell'osservarli avvicinati fra loro ritrarne quei lumi che fanno rilevare qual relazione essi abbiano con le cagioni dalle quali dipendono; e queste esperienze nate fra le loro mani e dirette da loro stessi, diventeranno nel tempo medesimo più istruttive e più piacevoli.

L'uso di questi apparecchi si applica principalmente ai tre rami di Fisica per i quali sembra più utile, cioè all'elettricismo, al magnetismo e all'ottica. I due che fanno le veci di elettroscopii si distinguono per certe qualità loro proprie, per le quali la loro virtù è esente per un tempo considerevole dall'influenza dell'aria circostante; e una disposizione particolare dell'apparecchio magnetico sottrae l'ago dalla forza che lo dirige e lo rende docile all'attrazione di poche molecole di ferro. Un apparecchio comodissimo a trasportarsi, destinato all'esperienze sulla luce polarizzata, permette al possessore di soddisfare la sua curiosità con l'osservazione di quei fenomeni sì importanti, i quali in un corso di Fisica non possono che enunciarsi e descriversi.

Ed abbiamo tanto più diritto di sperare che questi mezzi di osservazione saranno accolti con piacere, quanto che nel proporli ci uniformiamo alle vedute del famoso Gay-Lussac, il quale con le sue importanti ricerche, ha tanto

contribuito ai progressi della Fisica, alla quale rende tutt'ora sì utili servigii con le sne pubbliche lezioni, in cui spiega questi fenomeni con una giustezza e chiarezza eguale all'esatto suo metodo. Raccomanda l'uso dei piccoli apparecchi che egli cita, e desidererebbe che ciascuno fosse tanto industrioso da eseguirli egli stesso, persuaso che uno il quale sia nel tempo stesso artista e fisico, ha sicuramente maggiori mezzi per istruirsi (*a*). Questi apparecchi sono vantaggiosi ancora perchè servono agli studiosi come di incentivo a riunirsi per ripetere e verificare le esperienze; e così illuminandosi essi scambievolmente con le riflessioni che si comunicano fra loro, concepiscono un'idea più chiara e più distinta delle verità che appresero da altri.

Utilissima per noi, che stavamo preparando questa edizione, è stata la compagnia dell'insigne Delafosse, aiuto del Professore di Mineralogia nel giardino reale, giovane dotto, e che si distingue per le sue cognizioni in Fisica non meno che per quelle relative alla scienza che professa. Egli ci ha secondato col più vivo impegno nelle esperienze destinate a verificare i nuovi fatti che siamo per pubblicare; ha cooperato alla riduzione di molti articoli appartenenti all'elettricismo, ai gas e alla luce; e sempre con quello zelo e con quella intelligenza, che con ragione fanno anticipatamente prevedere il vantaggio che può ritrarsi dall'opera sua (*b*).

Abbiamo procurato di usare la maggiore accuratezza nello stile, e di abbellirlo pur qualche volta, quando l'argomento ci invitava in certo modo a farlo; osservando però di non oltrepassare, in quanto agli ornamenti, i limiti prescritti dal carattere di quest'opera; e senza aver l'ambizione di voler esser profondi, aspireremo a qnella soltanto d'esser

(*a*) Le descrizioni che abbiamo date del nostri apparecchi, e le figure con cui gli abbiamo rappresentati nelle tavole, bastano per dirigerne la costruzione. Chi desiderasse di acquistarli potrà dirigersi al Sig. Tavernier, orologiaio noto per la sua abilità, il quale gli eseguisce con la massima perfezione. L'apparecchio però destinato alle esperienze sulla polarizzazione della luce, si troverà presso il Sig. Beloeuf impiegato nel giardino reale, e che ha il raro talento di copiare in legno tutte le forme cristalline che abbiamo determinate.

(*b*) Dal Trattato di Cristallografia che è per venire alla luce, si potrà giudicare del profitto con cui Delafosse ha coltivato questo ramo importante di Mineralogia.

chiari e metodici. Ma se la natura d'un trattato elementare ci obbligava a limitarci soltanto ai raziocinii, o non ammetteva se non semplicissimi calcoli, i quali per esser compresi non richiedevano che un piccol numero di cognizioni ordinarie (*a*), abbiamo almen procurato di spargere in essa lo spirito dei grandi metodi inventati da uomini di sommo ingegno, lo studio dei quali metodi richiede maggior tempo e fatica maggiore; essi però soddisfanno assai più coi resultamenti loro, e servono meglio al fine della Scienza, perchè generalizzando i fatti riuniscono utilmente l'idea di molti di essi in una sola idea; simili a certi punti di vista elevatissimi, di dove a un colpo d'occhio possiamo scorgere la riunione di tutti i diversi oggetti che esistono in una vasta estensione di paese.

(*a*) Una gran parte di questi calcoli appartengono all'elettricismo, ed erano stati fatti da Biot fin da quando noi pubblicammo la prima edizione di quest'opera. Riportandoli in questa, ci ricordiamo ancora con riconoscenza quanta premura egli mostrò per comunicarceli, presentandoci così il mezzo di renderli noti a chi fosse per leggere la nostra opera in un'epoca in cui al merito che questi calcoli hanno per se stessi si aggiungeva quello della novità.

Digitized by Google

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA.

1. La Fisica è quella scienza che insegna a conoscere i fenomeni della natura. Mentre questi accadono, appariscono nei corpi certe proprietà che devono formare il soggetto della nostra attenzione e del nostro studio; e appunto col cercare le leggi stabilite dall'Essere Supremo per regolare l'esercizio di queste medesime proprietà, noi rintracciamo quelle teorie che servono a collegare i fatti fra loro, e a farcene rilevare la scambievole dipendenza.

I. DELLE PROPRIETA' PIU' GENERALI DEI CORPI.

2. Fra le diverse proprietà dei corpi, le prime che si presentano alla nostra osservazione son quelle che sono più inerenti alla natura di essi considerati come semplici riunioni di particelle materiali, e possono ridursi a quattro, cioè estensione, mobilità, impenetrabilità, divisibilità (1),

1. DELL' ESTENSIONE.

3. I Filosofi si son perduti in lunghe discussioni per cercare qual sia la vera nozione dell'estensione, e se essa formi l'essenza della materia: ma bisogna convenire che non conosciamo abbastanza la natura dei corpi per decidere queste specie di questioni, che i fisici

(1) A rigore, come osserva Biot, le proprietà essenziali della materia non sono che due, *Estensione* e *Impenetrabilità*. La figurabilità e la divisibilità dipendono dall' estensione; la mobilità e l' inerzia non sono che espressioni indicanti l' indifferenza della materia per il moto e per la quiete.

Digitized by Google

hanno ormai abbandonate; e contentandosi essi di quanto riferiscono i sensi su questo proposito, concepiscono che dove esiste contiguità e distinzione di parti, ivi esiste estensione. In vece dunque di cercarne una ridicola definizione, cercano piuttosto di misurarla, di paragonare le diverse parti che la compongono, e di trarre da questo paragone quelle conseguenze che possono esser più utili ai progressi delle nostre cognizioni.

4. La maniera con cui l'estensione d'un corpo è limitata per ogni parte determina la figura di esso; e osservando in generale il quadro variato della natura, si può dire che le figure dei corpi variano all'infinito. Benchè queste variazioni non fanno che modificare più o meno la somiglianza che passa fra i corpi di ciascuna specie, tanto fra gli animali e i vegetabili, quanto ancora fra molti corpi non organizzati che esistono nel seno della terra. Dando un'occhiata a questi particolarmente, la considerazione dei quali appartiene in qualche modo alla Fisica, se ne vedono moltissimi di figura regolare e determinata, per cui si scorge in essi l'azione di una causa soggetta a certe leggi che hanno e misura e limiti. Questi corpi che si chiamano *cristalli*, son terminati da facce piane, e hanno moltissima analogia coi solidi considerati dal geometra; e così per i minerali la linea retta è un carattere di perfezione, e se talora si trovano in essi alcune forme ritondate, non sono che l'effetto straordinario di alcune forze che nel far riunire le molecole, hanno alterate le forme primitive: al contrario negli animali e nei vegetabili la rotondezza è inerente all'organizzazione dei medesimi, e contribuisce anzi alla grazia e all'eleganza delle forme.

5. Da queste osservazioni i fisici hanno concluso che i corpi cristallizzati sono essi pure composti di particelle di una determinata figura, e taluno ancora servendosi del microscopio, quasi per assistere alla nascita dei cristalli, ha tentato di carpire alla natura il segreto delle forme elementari. Ma in questo caso il microscopio non dice nulla di più dell'occhio nudo, e i più piccoli corpi che possiamo scorgere con questo strumento son cristalli già formati, che differiscono solamente in dimensioni dai cristalli che son giunti al massimo accrescimento. Esporremo altrove il mezzo che sembra il solo capace di guidarci nelle ricerche di questo genere, e di darci nelle nostre osservazioni alcuni indizii se non certi almeno verosimili delle forme con cui si mostrano questi infinitesimi della natura, che sempre spariranno all'occhio umano.

6. L'estensione di un corpo, considerata relativamente alle sue dimensioni, determina il volume di esso, e corrisponde a ciò che i geometri chiamano *solidità*.

Della Porosità.

7. Quando nel dare la nozione dell'estensione, abbiamo parlato di contiguità di parti, di cui son composti i corpi, non abbiamo inteso di usare un linguaggio totalmente rigoroso. Si sa che nell'interno dei corpi esiste un'infinità di piccoli voti, che si chiamano *pori*; ed è anzi verosimile che in un corpo sia maggiore lo spazio voto del pieno. La somma totale delle parti materiali d'un corpo è ciò che si chiama *massa* del corpo, e la somma delle parti materiali comprese in un dato volume, come un metro cubico o un centimetro cubico, è ciò che si chiama *densità* del corpo: dal che resulta che la densità è il rapporto della massa al volume, ossia è eguale alla massa divisa per il volume. Per esempio, un pezzo di legno può aver più massa d'un pezzo d'oro, se il suo volume è tanto maggiore del volume dell'oro, da contenere un numero di molecole maggiore di quelle contenute in questo; ma il legno ha necessariamente minor densità dell'oro, perchè, a volume eguale, contiene una quantità molto minore di parti materiali.

8. La facoltà che hanno tutti i corpi di contrarsi quando si raffreddano, come spiegheremo in seguito, indica che esistono fra le molecole alcuni intervalli, per cui esse possono avvicinarsi fra loro: ma quando pur volessimo supporre un raffreddamento massimo, non per questo le molecole giungerebbero a porsi a contatto perfetto, poichè o nella forma di esse o nella disposizione o in qualunque altra circostanza, può esservi una causa di slontanamento dipendente dall'intima natura dei corpi. Quindi è che l'espressione *contatto immediato* da noi usata sì spesso, parlando delle molecole dei corpi, non deve prendersi letteralmente, ma indica soltanto la minima distanza a cui possono giungere le molecole fra loro relativamente alle circostanze in cui si trovano.

I fisici provano la porosità dei corpi con varie esperienze che sono comunemente note. Per esempio, si prende un tubo di vetro, che nella parte superiore termina con una ciotola di legno, il fondo della quale è grosso 7 o 8 millimetri, nella quale si versa un poco di acqua; e appena si fa il voto nel tubo, l'acqua passa a traverso i pori del fondo, e cade a gocce nell'interno del tubo: e se in vece di questo tubo se ne pone un altro che termini in cima con un vaso di cristillo, al quale serva di fondo un pezzo di cuoio di bufala, e in cui si pongano circa due dita di mercurio, dopo averne estratta piccola quantità d'aria, il mercurio cade nel tubo in forma di pioggia d'argento.

9. Questa proprietà può dimostrarsi ancora con un'altra semplicissima esperienza, fatta sopra una pietra di cui ha parlato Newton a

proposito di questa stessa proprietà, perchè essa dà origine a un fenomeno particolare sulla luce (*a*).

Questa pietra è del genere di quelle che si chiamano *agate*, che sono semitrasparenti e dure a segno da scintillare sotto i colpi dell'acciarino, e questa particolarmente è stata chiamata *idrofana*. Immergendola nell'acqua, si vedono alzare dalla superficie moltissimi fili di bolle d'aria che si succedono senza interruzione. Quest'aria che occupava i pori della pietra ne viene scacciata dall'acqua che ne prende il posto, e nel tempo stesso la pietra acquista un nuovo grado di trasparenza; e se si pesa prima dell'esperienza e quindi dopo l'esperienza, si trova notabilmente cresciuta di peso. Spiegheremo poi la causa fisica della trasparenza acquistata dall'idrofana, quando parleremo dei fenomeni della luce, giacchè qui la consideriamo soltanto come un esempio della porosità dei corpi: anzi da questa esperienza più che da qualunque altra apprendiamo, che non dobbiamo riguardare i pori come se fossero voti di qualunque altra materia, ma come occupati dall'aria o da qualche altro fluido sottile sparso fra le molecole dei corpi.

Un'idrofana del peso di circa 18 decigrammi nel suo stato ordinario, dopo essere stata sottoposta all'esperienza, pesava quasi 21 decigrammi, cioè il suo peso era cresciuto di circa $\frac{1}{6}$. Disseccata che sia una tal pietra, perdendo tutta l'acqua di cui si era inzuppata, ritorna alla sua opacità naturale.

10. La pelle dell'uomo e degli animali ha essa pure infiniti pori, per i quali con la traspirazione esalano le parti degli alimenti che non contribuiscono alla nutrizione. Oltre la traspirazione sensibile che si chiama *sudore*, e che è accidentale, v'è pure una traspirazione insensibile continua or più or meno attiva, e che nessuno avrebbe mai creduta sì abbondante prima delle esperienze di Santorio. Questo insigne fisico ebbe la costanza di passare una parte della sua vita sopra una bilancia, dove si pesava da per se per conoscere le perdite fatte per via di traspirazione, e trovò che questa specie di evacuazione faceva perdere all'uomo in 24 ore circa $\frac{4}{5}$ dell'alimento di cui si era nutrito.

11. Dodart ripetè quindi queste medesime esperienze, osservando ancora la differenza dell'età, e si assicurò che la traspirazione è molto maggiore nell'età giovanile. Ma i fisici che avevano studiato su questo soggetto, non avevan distinto l'effetto della traspirazione polmonare, la materia della quale sparisce per mezzo della espirazione, dall'effetto della traspirazione cutanea che accade a traverso della pelle. Seguin e

(*a*) *Optice lucis*. lib. II, *pars tertia*, *propositi tertia*.

Lavoisier vollero conoscere separatamente questi due effetti, e cercando col modo usato da Santorio l'effetto della traspirazione totale, impedirono che la traspirazione cutanea si disperdesse, applicando sulla loro cute un inviluppo per cui non potesse passare l'umore che essa tramandava, e ottennero così la quantità della traspirazione polmonare; e da tutte queste esperienze rilevarono che il rapporto fra questa quantità e quella della traspirazione cutanea è di $\frac{1}{11}$, cioè che l'effetto della traspirazione polmonare è un terzo e più della traspirazione totale.

12. Non abbiamo verun mezzo per conoscere la densità assoluta dei corpi, poichè a tal effetto bisognerebbe che esistesse una materia perfettamente densa che potesse servire di termine di paragone, affine di stabilire per ciascun corpo il rapporto fra la quantità di materia propria e la somma dei pori. In mancanza di tal materia non possiamo far altro che paragonare fra loro le varie densità dei corpi, lo che si fa per mezzo del peso, come vedremo fra poco.

2. DELLA MOBILITA'.

13. La mobilità è la facoltà che ha un corpo di esser trasportato da un luogo in un altro. Questo stato che si chiama *moto*, deve necessariamente dipendere dall'azione d'una causa che è stata chiamata *forza* o *potenza*, ma perchè esista tal causa, non è necessario che il corpo sul quale essa opera abbia un moto reale. Così quando due corpi si fanno equilibrio fra loro alle due estremità della leva di una bilancia, son tenuti in questo stato da forze che esistono realmente, ma di cui vengon distrutti scambievolmente gli effetti, o non fanno esse che produrre nei corpi una semplice tendenza a muoversi.

14. Il moto è uniforme quando il mobile percorre spazii eguali in tempi eguali, ed è accelerato o ritardato, quando il mobile in tempi eguali percorre spazii che successivamente crescono o scemano.

Della Celerità.

15. Nel moto uniforme il tempo impiegato a percorrere ciascuno spazio determinato può essere maggiore o minore, secondo la maggiore o minore energia della forza motrice.

Per paragonare fra loro i moti di due corpi, nel caso di uniformità, si prende un intervallo di tempo, come un secondo, per unità di tempo, e si sceglie del pari un'unità di spazio, come un metro. Così lo spazio totale percorso da ciascun corpo, e il tempo impiegato a percorrerlo si esprime con numeri astratti, che indicano quante volte essi contengono

l'unità dello spazio; e dividendo il numero che rappresenta lo spazio per il numero che rappresenta il tempo, troviamo la celerità di ciascun corpo. Per esempio, se un corpo ha percorso 35 metri in 7 secondi, e un altro 24 metri in 6 secondi, la celerità del primo sarà $\frac{35}{7}$, e quella del secondo $\frac{24}{6}$, cioè le due celerità staranno come 5 a 4.

Di qui si vede in qual senso debba prendersi la nozione che si dà della celerità, quando si dice che è eguale allo spazio diviso per il tempo, poichè a tutto rigore non potrebbero dividersi l'una per l'altra due quantità eterogenee come lo spazio e il tempo: dunque questo linguaggio non è che una maniera compendiosa di esprimere, che la velocità è eguale al numèro di unità di spazio diviso per il numero di unità di tempo che misurano il moto di un corpo.

16. Non possiamo misurare le forze se non per mezzo degli effetti che esse son capaci di produrre, poichè essi soli posson farcele conoscere. In tal caso si suppone che tutte le particelle ricevano egual velocità, e l'effetto della forza ha per misura la velocità presa tante volte quante particelle sono in un corpo, ossia la sua misura è il prodotto della massa per la velocità, il qual prodotto è ciò che si chiama *quantità di moto d'un corpo.*

Dell' Inerzia.

17. Tutti i corpi per se stessi perseverano nello stato loro di riposo o di moto in linea retta; cosicchè un corpo in riposo non può muoversi senza essere spinto al moto da qualche forza; ed egualmente il moto rettilineo d'un corpo non può essere nè cambiato nè alterato senza l'azione d'una causa estranea.

Quindi è che quando un corpo si muove con un moto accelerato o ritardato, deve supporsi l'azione d'una forza che ad ogni momento produce una variazione nella celerità, la quale senza questa causa sarebbe sempre uniforme.

18. In sostanza tutto questo significa che un corpo non può nè mettersi in moto da se, nè togliersi una porzione del moto che aveva. Questa mancanza di disposizione che ha un corpo a produrre un cambiamento qualunque nel suo stato, si chiama *inerzia.* Ma un corpo che cambia di stato in virtù dell'azione di una forza estranea, non soffre questa alterazione senza alterare esso pure lo stato di quella forza, cioè togliendole una porzione del suo moto; quindi è che la perseveranza stessa di un corpo nel suo stato di riposo o di moto uniforme, si considera come l'effetto d'una forza reale che esiste nel corpo, forza che può riguardarsi o come una resistenza, in quanto che si oppone all'altra

forza per cambiare lo stato di questo corpo, o come uno sforzo, in quanto che tende a produrre un cambiamento di stato nell'altra forza.

19. Per dare un'idea più chiara e più naturale dell'inerzia, il celebre Laplace comincia dal supporre che un corpo in moto incontri un corpo in riposo, nel qual caso quello comunicherà a questo una porzione del suo moto; sicchè se il primo ha per esempio una massa doppia di quella del secondo, cioè due terzi della somma delle due masse, la velocità che esso conserverà sarà parimente due terzi di quella che aveva in principio; e poichè l'altro terzo che esso ha ceduto al secondo corpo, opera sopra una massa che è metà di quella del primo, i due corpi dopo l'urto anderanno con la stessa celerità. L'effetto dell'inerzia si riduce dunque alla comunicazione che uno dei due corpi fa all'altro di una porzione del suo moto; e poichè il secondo non può ricevere senza che il primo perda, questa perdita si attribuisce a una resistenza esercitata dal corpo che riceve. Ma in questo caso accade del moto come di un fluido elastico contenuto in un vaso, con cui si mettesse in comunicazione un altro vaso voto, il qual fluido per effetto della sua forza espansiva si introdurrebbe nel secondo vaso, finchè si trovasse uniformemente distribuito in ambedue: del pari un corpo che ne urta un altro, non fa, per così dire, che versare in questo una porzione del suo moto; nè v'è ragione di supporre una resistenza in questo caso più che nell'esempio citato.

È vero che quando urtiamo con la mano un corpo in riposo o ancora in moto, ma meno rapido di quello della mano, ci sembra di provare una certa resistenza; ma ciò accade perchè l'effetto è lo stesso come se la mano fosse in riposo, e venisse il corpo ad urtarla con un moto diretto in parte contraria.

Bastino queste nozioni generali sulla mobilità, poichè tutto ciò che riguarda qualunque specie di moto considerato in diverse circostanze, appartiene alla Fisica matematica (2).

3. DELL' IMPENETRABILITA'.

20. Quando un corpo in moto incontra un altro corpo in riposo, non occupa lo spazio che questo occupava se non escludendolo da esso in virtù di quella porzione del proprio moto che gli ha comunicata. Per mezzo di questa osservazione noi rileviamo nei corpi un'altra proprietà che si chiama *impenetrabilità*, e che consiste nella facoltà che

(2) Nei preliminari di meccanica posti in fine del 2.° Volume, vedremo una spiegazione più estesa di questi principii generali come pure di quelli espressi nei §§. 37, 38.

ha un corpo di escludere qualunque altro corpo dal luogo che occupa; sicchè due corpi messi a contatto non possono mai occupare uno spazio minore di quello che occupavano quando erano separati.

21. Se di qualche corpo potessimo noi mettere in dubbio l'impenetrabilità, di quei corpi soltanto potremmo farlo, i quali essendo invisibili e composti di molecole mobilissime, son capaci di cedere alle più leggiere impressioni. Quantunque non sia ancor tempo di dare una nozione esatta di questi corpi che si chiamano *fluidi*, ve n'è uno, cioè l'aria atmosferica, che è troppo familiare per noi per non poterlo citare per esempio.

Fintanto che questo fluido non è rinchiuso, è tanto mobile che lascia libero il passo a qualunque corpo si muova in mezzo ad esso, ma in questo caso ancora esso cede propriamente il suo posto a quello, e non ne è penetrato. Che se si trattenga il fluido nelle pareti di un vaso, impedendogli di escire, e si voglia poi introdurre nel vaso stesso un corpo, questo proverà l'impenetrabilità di quello come nei corpi solidi, del che ciascuno può restar convinto per mezzo d'una facilissima esperienza. Si immerga un vaso verticalmente con l'orifizio in basso, in un altro vaso pieno d'acqua fino a una certa altezza: la superficie dell'acqua che corrisponde all'orifizio del vaso immerso è abbassata dal medesimo; e tal abbassamento può rendersi più visibile ancora per mezzo d'un pezzo di sughero galleggiante sulla superficie dell'acqua. Frattanto quest'acqua non è esclusa totalmente dall'aria del vaso immerso, anzi se ne eleva dentro ad esso una porzione che fino a un certo punto va crescendo a misura che il vaso viene immerso a una maggior profondità. Ma ciò dipende da una proprietà dell'aria, che conosceremo in seguito, per cui il suo volume si riduce in uno spazio minore in virtù dello sforzo che fa la colonna d'acqua corrispondente all'apertura del vaso, per mettersi a livello con l'acqua circostante.

22. Una difficoltà si presenta in questo proposito, nel vedere che mescolando alcuni corpi come alcool con acqua, o rame con zinco, per formare l'ottone, il volume della mescolanza è minore della somma dei volumi presi separatamente; sul che si osserva ancora che la densità della mescolanza è cresciuta di circa un decimo. Accade questa apparente penetrazione perchè le molecole dei due corpi, in virtù della loro figura particolare, si avvicinano generalmente fra loro più che nei corpi stessi separati: quindi nella figura dei pori nasce un tal cambiamento che diminuisce la somma degli spazii di questi corpi. Al contrario nella lega dell'argento col rame accade una specie di rarefazione, sicchè il volume della mescolanza è un poco maggiore della somma dei volumi dei due corpi, prima della fusione.

4. DELLA DIVISIBILITA'.

23. La parola *divisibilità*, presa nel suo semplice significato, non presenta nulla che non sia noto, poichè qualunque corpo è composto di parti che possono sempre concepirsi come capaci di essere separate. Ma la materia è essa divisibile realmente all'infinito in modo, che la sua divisione non ammetta alcun limite possibile? oppure è essa composta in fine di molecole indivisibili, e tali da riguardarsi come semplici? Fu questa una nuova sorgente di discussioni infinite fra i sostenitori delle due opinioni, i quali hanno esercitata tutta la sottigliezza possibile per trovare argomenti o favorevoli o contrarii all'una o all'altra; e dopo aver molto disputato e molto scritto, e tutto questo per un solo atomo, non hanno saputo concluder nulla; e quando pure fossero riusciti a sciogliere la questione, la scienza non avrebbe fatto veruno avanzamento. Fortunatamente sono state esiliate dalla Fisica tutte queste specie di questioni, sterilissime per il progresso delle nostre cognizioni, e invece di cercare se i corpi erano divisibili all'infinito, i sani fisici gli hanno piuttosto analizzati, ricavando da quest'analisi tali cognizioni, che hanno sparso una luce vivissima su tanti fatti che prima sembravano inesplicabili. In tal maniera è apparsa chiara questa verità, cioè che i limiti dell'esperienza e dell'osservazione son per noi quelli della natura medesima.

24. Ciò che v'è di certo, relativamente alla divisione dei corpi, si è che ne resultano parti separate le une dall'altre di una finezza superiore alla nostra immaginazione. In prova di questo possiamo citare le materie coloranti, e particolarmente il carminio, che è una specie di polvere che si cava dall'insetto chiamato comunemente *cocciniglia*. Si scioglie una piccola quantità di questa polvere, di 5 centigrammi di peso o poco meno di un grano, in fondo ad un vaso, in cui si versano poi 15 chilogrammi ossia 30 libbre d'acqua in circa; e questa diviene tutta visibilmente colorata. E poichè il peso di quest'acqua è trecentomila volte maggiore di quello dei cinque centigrammi di carminio, se si supponga che ciascun centigrammo contenga soltanto due molecole di principio colorante, si avranno tre milioni di parti visibili in cinque centigrammi di carminio.

25. Le impressioni dell'odorato egualmente che quelle della vista ci provano la gran divisibilità della materia. Vi sono alcuni corpi, il peso dei quali è appena alterato in modo, che noi ce ne possiamo accorgere dopo un lungo intervallo di tempo, nel quale chiunque si

trova a una certa distanza, prova sempre l'azione delle particelle odorifere emanate dalla sostanza di questi corpi.

Da una borsa che si trova nel corpo di alcuni animali si cava una sostanza che si chiama *muschio*, di cui un sol grano tramanda per molti anni un forte odore in una stanza dove l'aria venga spesso cambiata; e la sola carta in cui è stato involto un pezzetto di muschio, basta per comunicarne l'odore a un vestito per qualche tempo.

26. Le operazioni dell'arte possono darci un'idea molto più giusta di questa proprietà, in quanto che essa può essere sottoposta al calcolo. Boyle ha osservato che un grano ossia 53 milligrammi d'oro incirca, ridotto in foglia, può coprire una superficie di 50 pollici quadri, ciascuno dei quali avrà per conseguenza 27 millimetri di lato; ma il millimetro può considerarsi come diviso in 8 parti visibili, quindi si hanno 46656 piccoli quadrati visibili in una foglia quadra d'oro di 27 millimetri di lato; e poichè queste foglie sono in numero di 50, si concluderà che una piccola massa d'oro di 53 milligrammi di peso, può dividersi in più di due milioni di parti visibili dall'occhio nudo; e per mezzo del microscopio ciascuna parte diviene una foglia d'oro, divisibile ancora dall'arte e dal calcolo.

L'arte del battiloro spinge ancora più oltre la divisione, poichè con una foglia d'oro non maggiore in peso di 3 decagrammi, ossia un'oncia incirca, si può coprire un cilindro d'argento (3): quindi si fa passare per la trafila questo cilindro, e ridotto alla sottigliezza del capello, e coperto in tutta la sua superficie d'un sottilissimo strato d'oro, si riduce a lastra fra gli spianatoi, lastra che acquista una lunghezza di 444 mila metri, ossia 111 leghe di 2000 tese l'una. Ma poichè questa lastra è ricoperta d'uno strato d'oro sopra ciascuna delle due superficie, possono questi due strati considerarsi come due lastre d'oro sottilissime, e porsi col pensiero l'uno accanto all'altro per le estremità loro. Di più, poichè la larghezza della lastra è circa $\frac{1}{9}$ di millimetro o $\frac{1}{4}$ di linea, questa larghezza si può supporre divisa in due, e così la quantità d'oro impiegata equivale a quattro lastre, ciascuna delle quali sarebbe lunga 444 mila metri. Supponendo dunque che ciascun millimetro contenuto in questa lunghezza sia diviso in otto parti, si avranno più di 14 bilioni di parti visibili in una piccola massa d'oro del peso di 3 decagrammi, e che equivale a un cubo d'oro, il lato del quale avrebbe appena 12 millimetri o 5 $\frac{1}{3}$ linee di lunghezza.

Questa prodigiosa divisibilità dell'oro dipende dalla sua gran

(3) Lungo 22 pollici e grosso 5 linee.

duttilità unita alla sua gran densità; due qualità egualmente utili per le arti, che hanno per scopo l'applicare questo metallo sulla superficie del legno, del rame e d'altre materie, alle quali serve nel tempo stesso e di difesa e di ornamento.

27. Aggiungiamo un altro esempio preso da una sostanza pietrosa chiamata *mica* che è adattatissima all'operazione che chiamamo *divisione meccanica*. Noi stessi siam giunti perfino a staccare da questa sostanza una lastra, la quale in vece del color giallastro naturale a questa pietra refletteva un bellissimo azzurro, lo che indicava un'estrema sottigliezza del corpo, come lo spiegheremo parlando della luce. Avendo calcolata la grossezza di questa lastra con una regola indicata da Newton, e che egualmente esporremo a suo luogo, l'abbiam trovata eguale a 43 milionesimi di millimetro, ossia 1, 6 milionesimi di pollice, dal che si deduce che possono aversi 23255 lastre separate, dividendo un pezzo di mica della grossezza di un millimetro, ossia $\frac{1}{6}$ di linea.

28. Non possiamo chiudere questo articolo più opportunamente che con una giustissima idea di Newton sui limiti prescritti alla divisione dei corpi, nello stato presente di cose. Questo gran Filosofo è d'opinione che l'Essere supremo nel crear la materia, l'abbia composta di diverse specie di molecole elementari solide, dure, invariabili, dotate di figure e di qualità proporzionate alla loro particolar destinazione (*a*). Ora, son talmente fisse queste molecole, che nè verun'operazione dell'arte, nè alcuna delle forze esistenti nella natura possono nè dividerle nè alterarle, senza che nel tempo stesso venga a cambiarsi l'essenza dei corpi: quindi qualunque modificazione dei corpi stessi dipende unicamente dalle immutabili molecole, le quali si separano le une dalle altre, e si riuniscono quindi in diverse maniere per formare nuove combinazioni. Queste diverse molecole son pure le vere sostanze semplici della Chimica; e i resultamenti delle operazioni che le presentassero separate sarebbero il termine degli sforzi di questa scienza, la quale frattanto considera come semplici le sostanze che non è giunta ancora a decomporre, e con ragione colloca la semplicità dove si ferma l'osservazione.

(*a*) *Optice lucis*, lib. III. *quaest.* 31.

II. DELL'ATTRAZIONE (4).

29. Nelle azioni sottoposte alle leggi della meccanica ordinaria, i moti per cui i corpi sono spinti gli uni verso gli altri son prodotti da agenti esterni conosciuti, i quali o li spingono o li trasportano in modo da diminuire le distanze che li separavano fra loro: ma osservando la natura, troviamo una moltitudine di fenomeni in cui basta che due corpi sieno presenti, perchè, lasciati a se stessi, si avvicinino l'uno all'altro senza verun'altra causa sensibile di questo moto nè in essi nè intorno ad essi.

Molti fisici hanno creduto che in queste circostanze i corpi fossero mossi da qualche agente invisibile, di cui non si poteva con nessun mezzo provar l'esistenza, e lo stesso Newton non ha ardito di assicurare che l'impulso fosse estraneo affatto a questa classe di fenomeni (*a*): Ma questo gran Geometra e quelli che hanno seguito la sua dottrina, si sono accorti che il punto essenziale non era il cercare la natura della causa motrice, ma studiare la sua maniera d'operare, deducendo da certi fenomeni le leggi che la regolano, e servirsi quindi di queste leggi come principii per spiegare o ancora prevedere tutti gli altri fenomeni che sono intimamente connessi coi primi. E poichè apparisce al nostro occhio che i corpi tendano ad avvicinarsi da per se stessi, questa specie di tendenza scambievole è stata chiamata *attrazione*, la quale, se si riduca al suo vero significato, esprime il fatto soltanto e non la causa.

30. Vi son pure certe circostanze, in cui alcuni corpi separati da un intervallo qualunque si allontanano gli uni dagli altri, senza che apparisca di ciò veruna causa esterna; e questo sforzo che essi esercitano per fuggirsi scambievolmente è stato chiamato *repulsione*.

31. E perchè sono diversi i fenomeni che dipendono dall'attrazione, questa forza è stata suddivisa in due specie; una che più particolar-

(4) Sono tutt'ora immature l'idee emesse da due anni a questa parte relativamente a una nuova causa dei fenomeni in generale, riconosciuta per prima causa, o sia questa un fluido etereo o qualunque altra sostanza o ipotetica o realmente esistente. I migliori fisici che tenderebbero a verificarla, ed escluder quindi l'attrazione dal primato cha ha avuto fin ora fra le cause dei fenomeni naturali, non si trovano fin qui d'accordo sulla natura di essa. Comunque sia, bisogna convenire che siamo in un'assoluta ignoranza relativamente alla prima causa dei fenomeni, e che l'attrazione non si riguarda che come il primo effetto conosciuto, da cui derivano poi gli altri come effetti secondarii.

(*a*) *Optice lucis*, *lib.* III, *quaest.* 31.

Digitized by Google

mente appartiene alla Fisica, è la *gravità* o *gravitazione*; l'altra, lo studio della quale è diviso fra la Fisica e la Chimica, è l'*affinità* o *attrazion molecolare*.

1. DELLA GRAVITA'.

32. Per *gravità* si intende quella forza per cui un corpo lasciato a se stesso precipita verso la terra.

33. Gli antichi filosofi immaginarono diversi sistemi per rintracciare la causa di questo fenomeno così semplice all'occhio del volgo, il quale riguarda come naturalissima la caduta di un corpo quando non è sostenuto. Fra tutti questi sistemi il più ingegnoso e il più seducente è stato quello di Cartesio, che faceva dipendere la caduta dei corpi dal moto della materia sottile, il vortice della quale si aggirava intorno alla terra. Tutte le parti di questo vortice avendo una forza centrifuga per cui erano allontanate dalla terra, obbligavano i corpi a muoversi dall'alto in basso in una direzione contraria a quella di questa forza. Ma supponendo pur anco l'esistenza di questi vortici, non ammessa più da veruno presentemente, la spiegazione di Cartesio aveva contro di se molte difficoltà insuperabili: per esempio, un corpo situato nel piano d'un parallelo all'equatore dovrebbe scendere in una direzione obliqua alla superficie della terra, verso il punto dell'asse a cui corrispondesse il centro del parallelo medesimo; eppure la direzione della gravità è sempre perpendicolare alla stessa superficie. Questo sistema di Cartesio sparì in faccia alla teoria della *gravitazione universale*, di cui il solo nome esprime lo sforzo d'ingegno, con cui Newton per mezzo della gravità potè spiegare i moti celesti e i più importanti fenomeni della natura.

Differenza fra Gravità e Peso.

34. La gravità deve riguardarsi come una forza che opera egualmente e ad ogni istante sopra ciascuna molecola d'un corpo. Da questo principio resulta, che la celerità che essa imprime ad un corpo che cade, non dipende dalla massa di questo corpo, ma è la stessa per tutte le molecole insieme e per una molecola sola staccata dalla massa; sicchè o grande o piccola che sia questa massa, concluderemo soltanto che essa ha maggiore o minor numero di molecole dotate della stessa celerità; ma la celerità comune non sarà per questo nè aumentata nè diminuita. Nondimeno non vediamo che tutti i corpi cadano con la stessa velocità, nè che arrivino contemporaneamente alla superficie

Digitized by Google

della terra, benchè partiti insieme dalla medesima altezza, e indicheremo la ragione di questa differenza dopo avere stabilito quella che passa fra la gravità di un corpo e ciò che si chiama propriamente *peso* d'un corpo. La gravità, come abbiamo detto, si misura dalla velocità che essa imprime in ciascuna molecola d'un corpo, velocità che è indipendente dal numero delle molecole; ma il peso d'un corpo si misura dallo sforzo che bisogna fare per sostenerlo e per impedirne la caduta, e questo sforzo è tanto più considerevole, quanto maggiore è il numero delle molecole che compongono il corpo stesso, dotate della stessa velocità: quindi la vera espressione del peso è il prodotto della massa per la velocità, e però, relativamente ai corpi che pesiamo, essa varia in proporzione della massa, perchè si riguardano come eguali le velocità che muovono questi corpi. In conseguenza di ciò è facile il comprendere perchè fra i corpi lasciati a se stessi, quelli che hanno maggior massa cadono dalla stessa altezza più presto di quelli che hanno una massa minore. Tal differenza dipende dalla resistenza dell'aria, la qual resistenza è maggiore relativamente a corpi di piccola massa. Infatti lasciando cadere nel momento stesso due palle di egual diametro, una di piombo, l'altra di sughero, poichè esse presentano alla resistenza dell'aria un'egual superficie, e son mosse da egual velocità iniziale, provano per parte dell'aria stessa un'egual resistenza; quindi ne viene che la resistenza dell'aria toglierà alla palla di sughero, che ha una minor quantità di moto, una porzione di velocità maggiore di quella che perderà nel tempo stesso la palla di piombo, e la prima, scapitando ad ogni momento più che la seconda, sarà più ritardata.

35. Galileo, al quale era riserbata la gloria di preparare molto prima la teoria di Newton, con la scoperta della legge a cui è soggetta l'accelerazione dei gravi, avendo lasciato cadere da una grande altezza diverse palle d'*oro* di *piombo*, di *rame*, di *porfido*, e una palla di *cera*, osservò che tutti questi diversi corpi cadevano quasi contemporaneamente sulla superficie della terra. La sola palla di *cera* ritardò visibilmente, ma nondimeno quando caddero gli altri corpi, essa era distante da terra 4 pollici. Egli dunque considerando che questa differenza era ben lungi dall'essere in rapporto col peso, concluse che essa dipendeva unicamente dalla resistenza dell'aria; e questa congettura è stata verificata in seguito da un numero d'esperienze dirette, cioè facendo cadere dall'alto di un tubo, nel quale si procura il maggior voto possibile, varii corpi di differenti masse, come legno, ferro, piombo, sughero, piuma, lana, ec.; ed è stato osservato che tutti questi corpi non lasciano scorgere veruna differenza notabile nella durata

della loro caduta. In quanto ai corpi che si alzano nell'aria, come il fumo, si sa che ciò accade perchè sono specificamente più leggieri dell'aria; come appunto un sughero immerso nell'acqua a qualunque profondità, lasciato a se stesso, torna a galleggiare sulla superficie. Il volgo riguarda come privo di peso tutto ciò che va in alto in vece di cadere, lo che fece dire a Newton che il peso per l'uomo volgare era l'eccesso del peso assoluto d'un corpo sul peso dell'aria; e l'elevazione degli aerostati è opportunissima per disingannare chi ammette la teoria dei corpi senza peso.

Dell' accelerazione del moto prodotta dalla Gravità.

36. Abbiamo veduto (§. 17.) che un corpo messo in moto tende da se stesso a perseverare in questo stato, con la stessa celerità e nella direzione stessa che aveva nel primo momento: ma se questo corpo è mosso da una forza che operi sopra esso senza interruzione, e con azioni che sieno eguali in tempi eguali, la sua celerità crescerà continuamente e in un modo uniforme.

37. Tale è il moto che la gravità produce nei corpi. Per ben comprendere la legge di acceleraz one che ne resulta, supponiamo che un corpo cada da una certa altezza in un tempo determinato, come tre o quattro secondi: questo tempo potrà considerarsi come composto d'una moltitudine di istanti infinitesimi, e bisognerà che ci immaginiamo che nel primo istante il mobile riceva dalla gravità un grado infinitesimo di celerità, e che a questa celerità se ne aggiunga un egual grado ad ogni istante successivo; sicchè la celer tà del mobile nei varii istanti successivi di sua caduta cresceranno come i numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, ec. Ne vien dunque per conseguenza che il numero dei gradi di velocità acquistati successivamente dal mobile è sempre eguale al numero degl'istanti della sua caduta, cioè la celerità cresce come i tempi.

Supponiamo un triangolo rettangolo *s c b* (*fig.* 1.) tagliato dalle linee *g h*, *i l*, *k n*, ec. parallele alla base *b c*, talmentechè le parti *s h*, *h l*, *l n*, ec. dell'altezza, comprese fra queste linee, sieno eguali fra loro: se ci immaginiamo che queste parti rappresentino, per esempio, minuti secondi di tempo, *g h* rappresenterà la celerità acquistata dal mobile al fine del primo minuto secondo, *i l* quella acquistata dopo due secondi, e così di seguito; poichè le linee *g h*, *i l*, *k n* essendo fra loro nella proprorzione delle linee *s h*, *s l*, *s n*, ec. accade di quelle, relativamente a queste, come delle celerità relativamente ai tempi.

Se si supponga ora il triangolo *s c b* suddiviso da molte altre linee

comprese fra *sh* e *gh*, *gh* e *il*, *il* e *kn*, ec: queste linee, cominciando dal punto *s*, rappresenteranno le celerità negl'istanti infinitesimi successivi che compongono i tempi rappresentati da *sh*, *sl*, *sn*, ec.; e poichè queste celerità non son altro che piccoli spazii percorsi negl'istanti corrispondenti, il triangolo *sgh* essendo la somma degli spazii che corrispondono al tempo misurato da *sh*, questa somma rappresenterà lo spazio totale percorso nel primo minuto secondo (*a*); sicchè il triangolo *sil* rappresenterà lo spazio percorso nei due primi minuti secondi, e così successivamente degli altri. Ora i triangoli *sgh*, *sil*, ec. stanno fra loro come i quadrati delle altezze *sh*, *sl*, ec; dal che concluderemo che gli spazii percorsi dal mobile dal principio del suo moto, sono come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. Così i tempi rappresentati da *sh*, *sl*, *sn*, ec. essendo fra loro nel rapporto dei numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, ec. gli spazii corrispondenti saranno nel rapporto dei quadrati 1, 4, 9, 16, 25, ec, di questi numeri.

È facile dunque trovare il rapporto fra gli spazii percorsi in diversi tempi eguali consecutivi; poichè rappresentando con l'unità il primo di questi spazii, è chiaro che gli spazii successivi saranno rappresentati dalle differenze fra i termini della serie 1, 4, 9, 16, ec, che indicano gli spazii totali dal principio del moto: dunque gli spazii percorsi in tempi eguali consecutivi, cominciando dall'origine del moto, staranno fra loro come i numeri dispari 1, 3, 5, 7, ec. i quali, dopo il primo, indicano le differenze cercate.

L'esperienza ha provato che un corpo a cui l'aria non opponeva una resistenza notabile, nel primo minuto secondo del suo moto percorreva 15 piedi e $\frac{1}{10}$, ossia 49 decimetri incirca. Con questa notizia è facile conoscere l'altezza da cui è caduto un corpo pesante in un certo numero di secondi, prendendo 49 decimetri tante volte quante unità sono nel quadrato del numero dei secondi.

38. Se dopo un certo tempo, per esempio dopo quello che è rappresentato da *sh*, la gravità o la forza acceleratrice cessi d'operare, il corpo continuerà a muoversi con la velocità *gh* divenuta uniforme: se si supponga dunque che esso continui a muoversi per un tempo eguale al primo, e che possiamo indicare con *hl*, lo spazio che percorrerà essendo eguale alla celerità *gh* presa tante volte quanti istanti corrispondono a *hl*, sarà come il prodotto di *gh* per *hl*, il qual prodotto è doppio della superficie del triangolo *shg*;

(*a*) Si può prendere liberamente la superficie d'un triangolo per rappresentare uno spazio in lunghezza, o una semplice dimensione, ponendo col pensiero uno dopo l'altro tutti gli elementi del triangolo.

Digitized by Google

dal che segue che nel moto uniformemente accelerato che resulta dalla gravità, lo spazio percorso in un tempo dato è la metà di quello che il mobile può percorrere con la celerità continua uniformemente acquistata.

39. La scoperta della legge con cui la gravità esercita un'azione sui corpi posti in vicinanza della terra, e che abbiamo detto doversi a Galileo, non era che un primo passo in una carriera immensa che doveva poi essere percorsa dal gran Newtou, per il quale il principio della gravità è divenuto sì fecondo da non aver altri limiti che quelli dello stesso Universo. Questo gran Geometra congetturò che questa forza, intensa egualmente sulle cime delle più alte montagne e sulla superficie della terra, si estendesse fino alla luna, e che combinata col moto di proiezione di questo satellite le facesse descrivere un'orbita ellittica intorno alla terra. A questa distanza la gravità doveva trovarsi notabilmente scemata, e per stabilire la legge di questa diminuzione, Newton per mezzo della cognizione del conosciuto moto della luna nella sua orbita, e del rapporto fra il raggio della terra e quello dell'orbita stessa, cercò da quale altezza la luna, lasciata liberamente alla sua gravità, scenderebbe verso la terra in un tempo dato: paragonando quindi questa altezza con quella che in un tempo eguale è misurata dalla caduta dei corpi in vicinanza della terra, trovò che, nella supposizione che questa forza si estendesse fino alla luna, la legge della gravità seguiva la ragione inversa dei quadrati delle distanze. Finalmente generalizzò questo resultamento, considerando il Sole come il fuoco di una forza che si propaga indefinitamente nello spazio, e che opera in ragion diretta delle masse, e inversa dei quadrati delle distanze su tutti i corpi del nostro sistema planetario, mentre questi corpi stessi esercitano pure gli uni sugli altri simili azioni. Questa breve esposizione basta per far comprendere l'immensa fatica che intraprese Newton e gl'illustri geometri che perfezionarono la sua teoria, per stabilire le varie modificazioni di una legge tanto semplice per se stessa, e tanto composta nei suoi resultamenti, per scoprire l'influenza scambievole dei fenomeni, e sciogliere il nodo col quale ciascuno è legato alla totalità del sistema.

40. L'attrazione che esercitano fra loro i differenti corpi della natura, non è altro se non che la somma delle attrazioni particolari di tutte le molecole di cui essi sono composti; dal che resulta che il principio che ha servito a Newton come di chiave alla sua teoria, se si consideri nel più generale aspetto, deve enunciarsi così: *Tutte le molecole della materia si attraggono scambievolmente in ragione diretta delle masse, e inversa del quadrato delle distanze.*

Digitized by Google

41. Per meglio sviluppare questo principio che avremo occasione di applicare a molti fenomeni fisici, supponiamo con Newton un inviluppo sferico *pnx* (*fig.* 2.), di cui tutte le particelle esercitano una forza attrattiva in ragione inversa del quadrato delle distanze sopra una molecola *m* situata al di fuori a qualunque distanza. Newton ha provato che in questo caso l'attrazione totale che resulta da tutte le attrazioni particolari è la stessa, relativamente alla molecola attratta, come se tutte le molecole attraenti si trovassero riunite nel centro *c* dell'inviluppo sferico composto di esse (*a*): poichè supponendo che tutte si riuniscano in questo punto, le attrazioni di quelle che fossero vicine alla molecola attratta più che al centro; scemerebbero in conseguenza dell'aumento della distanza; mentre le attrazioni di quelle che fossero più lontane dalla molecola attratta che dal centro crescerebbero in forza d'una distanza minore (*b*). Ora la Geometria dimostra che in questo caso si stabilisce una compensazione fra le azioni decrescenti e le crescenti, sicchè la somma delle forze resta sempre la stessa.

Potendo dunque riguardarsi una sfera come una riunione di inviluppi sferici soprapposti, ad ognuno dei quali può applicarsi il raziocinio che abbiamo fatto di sopra, ne segue che la sfera intera, supposta sempre un'attrazione in ragione inversa del quadrato della distanza, opera sopra una molecola situata esteriormente, come se tutta la materia di questa sfera fosse riunita nel centro. È stato dato il nome di *centro d'azione* a quel punto in cui bisognerebbe supporre che fossero riunite tutte le particelle d'un corpo, perchè l'azione loro totale fosse la stessa di quando esse erano sparse in tutta l'estensione di questo corpo. Questo teorema di cui abbiamo dato soltanto un'idea è molto importante, perchè ci conduce a considerare le sfere come semplici punti pesanti.

42. Di qualunque figura sia il corpo che attrae la molecola *m*, ognuno comprende che il centro d'azione sarà sempre situato nell'interno del corpo, a una determinata distanza dalla superficie, e se alla molecola *m* si sostituisca un altro corpo di una certa estensione, i due corpi si attrarranno in ragion diretta delle loro masse e in ragione inversa dei quadrati delle distanze fra i centri loro d'azione.

43. È dunque chiaro che un corpo portato alla maggior altezza a cui possa l'uomo elevarsi, non è sensibilmente attratto meno che se fosse in vicinanza della superficie della terra, poichè tale elevazione del corpo

(*a*) *Princip. Math.* l. 1. *prop.* 71. *theor.* 31.

(*b*) Se dal punto *m* preso come centro, e con l'intervallo *me* preso come raggio, si descriva un arco di circolo *res* che tagli la circonferenza *pnx*, e se si supponga che questo arco appartenga a un altro inviluppo sferico che abbia per centro il punto *m*, questo determinerà il limite fra i punti *a*, *b*, *p*, *z*, ec., che si allontaneranno dalla molecola *m*, e i punti *e*, *g*, *h*, *o*, ec., che si avvicineranno ad essa.

non essendo paragonabile al raggio terrestre, la distanza fra i due centri d'azione si trova cresciuta pochissimo relativamente a se stessa, e quindi in questo allontanamento del corpo dalla superficie terrestre, la diminuzione della forza d'attrazione diviene insensibile.

44. Si comprende del pari perchè due corpi di piccol volume, supponendoli ancora liberamente sospesi a una piccola distanza fra loro, non presentano verun moto sensibile l'uno verso dell'altro; poichè essendo essi quasi altrettanti punti in paragon della terra, l'attrazione che questa esercita sopra quelli diviene talmente maggiore, che impedisce in essi qualunque effetto di scambievole attrazione. Se si rappresentiuo le due attrazioni con due lati d'un parallelogrammo, l'uno dei quali coincida con la linea che unisce i centri d'azione dei due corpi, e l'altro con quella che passa per uno di questi centri e per il centro della terra, il rapporto fra questi lati sarà tale, che la resultante rappresentata dalla diagonale del parallelogrammo, non si allontanerà che pochissimo dal gran lato situato sulla direzione dell'attrazione terrestre.

45. Quanto abbiamo detto fin qui deve intendersi per le circostanze ordinarie, in cui soltanto per mezzo dei sensi giudichiamo dei corpi posti in presenza l'uno dell'altro: ma Cavendish ha potuto rilevare e misurare gli effetti dell'attrazione scambievole di questi corpi, facendo in modo che uno di essi in virtù della sua massima mobilità fosse capace d'obbedire a una piccolissima forza (*a*).

L'apparecchio era quel medesimo di cui tanto utilmente si era servito Coulomb per stabilire la legge a cui son soggette le attrazioni elettriche, e che descriveremo nell'articolo dell'elettricismo. Basti per ora il sapere che il pezzo principale di questo apparecchio è una leva sospesa liberamente a un filo metallico, il quale nel torcersi in forza dell'attrazione o della repulsione che un corpo esercita sopra un'estremità di questa leva, imprime ad essa un moto che indica la misura di una o dell'altra di queste due forze.

Nell'esperienze fatte dal celebre chimico inglese, ad ognuna delle due estremità della leva era applicato un piccolo globo di ferro o di rame: a questi globi si avvicinavano due palle di piombo di circa 3 decimetri o un piede di diametro, disposte in modo che le azioni loro cospirassero a far girare per il medesimo verso i due bracci della leva; e queste azioni si manifestavano con un moto oscillatorio sensibilissimo che imprimevano nella leva. Cavendish paragonò questo moto con quello impresso dalla gravità in un pendolo; e conoscendo inoltre la densità e il volume di ciascuna palla, come pure la densità del globo terrestre, da tutti questi dati differenti dedusse la densità media di questo globo, e la trovò in rapporto con quella dell'acqua come 5, 5 : 1.

a) *Transact. philos. de la Soc. R. de Londres*, an. 1798.

È questo uno dei più importanti resultamenti fra quelli che provano a qual sublime grado di perfezione è arrivata la Fisica ai tempi nostri, e che soprattutto dimostrano che esperienze come quelle che abbiamo esposte, richiedono un'esattezza proporzionata alla loro delicatezza, se vogliamo esser certi dei fatti che esse ci dimostrano.

Della Gravità specifica.

46. Supponiamo una serie di corpi di diversa natura e di volume eguale. Se con una bilancia ordinaria si pesino successivamente tutti questi corpi, per stabilir l'equilibrio saranno necessarii pesi diversi secondo la diversa loro densità. Se supponiamo inoltre che dopo avere scelto per termine di comparazione uno di questi corpi, per esempio il più leggiero, si rappresenti il suo peso con l'unità, esprimendo poi il peso di tutti gli altri corpi con un numero relativo a questa unità, si avranno i rapporti fra i pesi dei differenti corpi paragonati a una misura comune, ossia le *gravità specifiche* di questi corpi.

47. E quand'anco non fossero eguali i volumi dei corpi che si vogliono sperimentare, basterebbe poterli conoscere con qualche esattezza per paragonarli fra loro; e quindi sarebbe facile ridurre i resultamenti dei diversi pesi a quello che si avrebbe nel caso dell'unità di volume. Ma non potendosi ammettere in pratica veruna di queste due ipotesi, la scienza ha trovato con che supplire a questa mancanza, servendosi di un principio d'Idrostatica scoperto da Archimede, quando Gerone re di Siracusa gli propose, per quanto vien raccontato, la soluzione d'un certo problema. Questo principe avendo ordinato a un orefice una corona d'oro puro, sospettò che egli avesse unita in lega all'oro una quantità d'argento; e volle che Archimede scoprisse la verità, senza distruggere o alterar la corona; e in caso di frode, indicasse quanto argento vi era mescolato. Per far concepire chiaramente il principio che condusse quel grande uomo alla soluzione di questo problema, immaginiamo un corpo che pesi precisamente quanto un volume d'acqua eguale al suo. Se si sospenda questo corpo a un filo, che supporremo qui senza peso, e si immerga nell'acqua, non sarà necessaria più veruna forza per sostenerlo, perchè è sostenuto interamente dal liquido, che esercita sopra esso uno sforzo eguale a quello con cui teneva in equilibrio il volume d'acqua della quale il corpo stesso ha occupato il posto. Che se esso, conservando il suo volume, cresca di peso, l'acqua proseguirà a fare equilibrio a tutta la porzione del peso di questo corpo, che eguaglia il primo peso, ossia il peso del volume d'acqua scacciata; talmentechè se si pesa il corpo così immerso, esso muoverà la bilancia

con l'eccesso soltanto del peso primitivo: Quindi è che se prima si pesa nell'aria e quindi nell'acqua un corpo più pesante di un egual volume di questo liquido, vi perde una porzione del suo peso eguale al peso del volume d'acqua scacciata; ed è questo il principio di cui abbiamo parlato di sopra. In tal maniera si stabilisce il rapporto fra il peso del corpo e quello di egual volume d'acqua, e così questo liquido serve di misura comune per paragonare fra loro le gravità specifiche dei diversi corpi.

48. La bilancia destinata per le ricerche di questo genere si chiama *bilancia idrostatica*. Il corpo sul quale si fa l'esperienza si sospende per un crine a un piccolo uncinetto fissato sotto uno dei due bacini, riuscendo così facilissimo immergerlo nell'acqua per pesarlo in essa.

49. Perchè le esperienze sieno sempre paragonabili fra loro, il liquido deve essere sempre eguale in natura e in densità: a questo fine si fa uso di acqua stillata o d'acqua piovana che è quasi egualmente pura, osservando ancora di servirsi di quest'acqua a una data temperatura. Brisson che lasciò una tavola delle gravità specifiche dei corpi, la più estesa per i tempi suoi, adottava la temperatura di 14° del termometro diviso in 80 parti, che corrisponde a 17°, 5 del termometro centigrado, come temperatura media nel nostro clima.

La gravità specifica dell'acqua che è il termine di comparazione per le gravità specifiche di tutti i corpi, è stata rappresentata ordinariamente dal numero 1000, o 10000; ma è più naturale rappresentarla con l'unità, poichè, il calcolo essendo sempre lo stesso, le frazioni vengon tutte decimali.

50. Rischiariamo con un esempio il modo di stabilire la gravità specifica dei corpi. Sia data una massa d'oro che pesi nell'aria 6 decagrammi ossia 6000 centigrammi, e 5688 centigrammi nell'acqua: sottraendo questo peso dal primo, i 312 centigrammi di resto indicheranno il peso che l'oro ha perduto nell'acqua, e nel tempo stesso il peso d'un egual volume d'acqua; e quindi avremo questa proporzione: 312, ossia il peso del volume d'acqua eguale a quello dell'oro, sta a 6000, peso assoluto dell'oro, come 1, che rappresenta in generale la gravità specifica dell'acqua, sta al quarto termine che esprimerà la gravità specifica dell'oro. Si vede dunque che tutta l'operazione si riduce a dividere il peso assoluto del corpo per il peso perduto da esso nell'acqua, e così il quarto termine cercato in questo caso, limitandosi a quattro decimali, sarebbe 19,2308, gravità specifica cercata dell'oro (5).

(5) Chiamando p il peso del corpo nell'aria, p' il peso perduto da esso nell'acqua, d la densità o gravità specifica cercata, si avrà in generale $p' : p :: 1 : d$, e quindi $d = \frac{p}{p'}$; ma il peso perduto dal corpo nell'acqua è eguale al peso

51. Ora è facile il comprendere come Archimede potè sciogliere il propostogli problema, poichè gli bastò di conoscere il peso assoluto della corona, la sua gravità specifica, quella dell' oro puro quale l'abbiamo trovata di sopra, e quella dell'argento puro che è quasi 10, 5. E primieramente trovò che la gravità specifica della corona era minore di quella dell' oro puro, dal che si deduceva soltanto una lega d'argento; ma poi combinando i diversi dati per mezzo del calcolo, giunse a determinare le quantità relative dei due metalli di cui era composta la corona, prescindendo dalla piccola differenza che poteva resultare dal non riunirsi mai due metalli in un volume precisamente eguale alla somma dei due volumi particolari (6).

52. L' oro per molto tempo era stato creduto il più pesante fra tutti i corpi naturali; ma nel 1741 fu scoperto un altro metallo detto *platino* che è più pesante dell'oro, e il famoso Borda trovò che la gravità specifica di questo è 20,980 Queste cognizioni sono importantissime non tanto per il Fisico quanto per il naturalista, che con questo mezzo

dell' acqua scacciata, cioè al peso di un volume d'acqua eguale al volume del corpo, dunque, chiamando v questo volume, sarà $p'=v$, dunque $d=\frac{p}{v}$, e di qui si ha $v=\frac{p}{d}$, $p=dv$.

(6) Sia p il peso della corona, a, b, c i pesi perduti nell' acqua dall'argento, dall' oro puro e dalla corona, dove si suppone $c \gtrless b, a$, e sieno x, y, le quantità incognite dell' argento e dell' oro mescolate nella corona. Poichè queste due quantità formano il tutto p, sarà $x+y=p$. Ma il peso p della corona o verga d' argento puro sta alla quantità x del peso d' argento mescolato nella corona sospetta, come il peso a perduto da essa nell' acqua sta al peso X perduto da x, cioè $p : x :: a : X=\frac{ax}{p}$: nella stessa maniera si ha per l' oro $p : y :: b : Y=\frac{by}{p}$. Ora queste due porzioni di peso perduto nell' acqua da x, y debbono insieme essere eguali alla porzione c di peso perduto dalla corona nell' acqua, dunque $\frac{ax}{p}+\frac{by}{p}=c$. Ponendo in questa equazione il valore di $x=p-y$ preso dalla precedente, si avrà $y=p\left(\frac{a-c}{a-b}\right)$, quantità d' oro contenuta nella corona; e quindi $x=p\left(\frac{c-b}{a-b}\right)$. Così se $p=10$, servendoci delle gravità specifiche dell'oro e dell'argento indicate qui sopra dall'Autore, troveremo $a=\frac{10}{10,5}$, $b=\frac{10}{19,2308}$, e la gravità specifica della corona mescolata, dovendo essere media fra quella dell' oro e dell' argento puro, sarà $\frac{2}{3}$. Sostituendo questi valori si troverebbe $x=3,399$ in circa, e $y=6,6001$.

trova uno dei caratteri distintivi dei minerali. Quindi non più si confonderà il minerale chiamato *dicroite* (*safiro d'acqua* dei lapidarii) con una specie di corindo conosciuta sotto il nome di *safiro orientale*, poichè la gravità specifica del primo è 2, 8 in circa, e quella del secondo è circa 4; differenza di peso che diviene tanto più importante, quanto che da essa dipende una differenza notabilissima di prezzo.

53. La costruzione dell'areometro di Fahrenheit, col quale si cerca la gravità specifica dei liquidi, è fondata sopra un principio che è un corollario del precedente; cioè che in un corpo specificamente più leggiero dell'acqua, sulla quale in conseguenza galleggia in parte, il peso del volume d'acqua esclusa dalla porzione immersa è eguale al peso del corpo intero. Immergendo successivamente l'areometro in liquidi di densità diversa, si varia il suo peso coi pesi addizionali di cui si carica, onde sia sempre costante il volume della parte immersa, col che si ha una misura comune che serve a determinare le gravità specifiche dei liquidi, relativamente a quella dell'acqua stillata. Fra poco descriveremo uno strumento dello stesso genere dell'areometro, per farne concepire un'idea più chiara.

54. L'uso degli areometri ordinarii dipende da un'altra applicazione dello stesso principio, cioè che un corpo che galleggia in parte, si immerge tanto più nel liquido quanto questo è meno denso. L'areometro consiste in un tubo di vetro che nella parte inferiore termina in palla, ed è diviso in parti eguali in tutta la sua lunghezza. Per tenerlo in situazione verticale quando è immerso, si salda sotto la palla un'altra piccola pallina con entro un poco di mercurio; ma questo areometro indica solamente se un liquido è più o meno denso d'un altro, e non indica, come quello di Fahrenheit, il rapporto fra le due densità (7).

(7) Merita d'esser conosciuta un'importantissima correzione fatta sull'areometro dal Canon. Bellani, Fisico benemerito, il quale nei suoi principii si è combinato senza saperlo con Richter. Il suo areometro è un cilindro di vetro sottile lungo circa 6 pollici, e di due o tre linee di diametro, ben calibrato all'esterno, chiuso all'estremità inferiore, e contenente un poco di munizione sottile, tenuta unita per mezzo di cera fusa o di qualunque altra materia; e ciò serve per tenerlo verticale quando si immerge in un liquido. Ciò fatto, si chiude ermeticamente ancora dalla parte superiore.

Si preparano tre di questi *pesa-liquori*, uno per i liquidi più leggieri dell'acqua nel rapporto di 100 a 70, e gli altri per i liquidi più pesanti nel rapporto di 100 a 200, che sono gli estremi fra cui son compresi tutti i liquidi che si conoscono, eccettuato il mercurio, relativamente alla gravità dell'acqua che è rappresentata da 100.

Il tubo in cui si immerge l'areometro per fare l'esperienze, è un cilindro lungo e largo poche linee più di esso, e che in cima termina con una bocca emi-

55. Molto pregevole ancora è uno strumento somigliantissimo all'areometro immaginato da Nickolson per trovare le gravità specifiche dei solidi, il quale consiste in un piccolo cilindro voto MN (*fig.* 3.) di latta, che termina in cima con una verga sottile B dello stesso metallo, nella quale è incastrato un cannello parimente di metallo, all'estremità del quale è un piccolo bacino A, fatto a guisa di scodella, e che verso il mezzo ha un indice *b* fatto visibilmente o con la lima o in qualunque altra maniera: all'estremità inferiore è unito o attaccato un cono rovesciato EG, concavo verso la base, e contenente una certa quantità di piombo. Il peso dello strumento deve essere tale, che quando si immerge nel liquido per poi abbandonarlo a se stesso, vi galleggi con una parte di se. Ordinariamente sopra il bacino o piccola scodella superiore se ne pone una un poco più grande, la quale con la sua parte convessa entra nella concavità della inferiore. Così quella può togliersi a piacere o per ritirare più facilmente il peso di cui è caricata, come diremo fra poco, o per fare qualunque cambiamento si voglia.

L'uso di questo strumento è facilissimo a comprendersi. E primieramente si pongano nel bacino superiore i pesi necessarii per fare scendere a fior d'acqua il segno *b* fatto nella verga, lo che si dice *affiorare* l'areometro; e questo peso si chiama la *prima carica* dell'areometro (*a*): si toglie quindi questa carica dal bacino, e vi si pone il corpo che si

sferica divergente a guisa di imbuto, la qual costruzione è comodissima per introdurre il liquido, e per vedere poi distintamente a traverso di questo imbuto ingrandita la linea di divisione a cui corrisponde la sezione comune del liquido e dello strumento.

Ognuno di questi areometri ha due scale disegnate sopra un cilindro di carta che si introduce in essi; una è la solita scala di Baumé, (Tav. I. fig. I. *a'*) l'altra quella delle gravità specifiche, espressa in centesimi, che possono ancora dividersi in millesimi (Tav. I. fig. I. *a''*): la prima ha le divisioni eguali, e la seconda le ha crescenti dal basso all'alto, perchè per la solita legge idrostatica l'areometro si immerge tanto meno quanto il liquido è più grave.

La scala *a''* è esclusivamente applicabile ai liquidi più pesanti dell'acqua. I dieci gradi inferiori di Baumé della scala precedente son ripetuti in questa nella parte superiore; e la scala delle gravità specifiche scende fino a 200, cioè a una densità superiore a quella dell'acido solforico, che è il più pesante di tutti i fluidi dopo il mercurio.

Queste scale posson servire per tavola di riduzione dei gradi della scala di Baumé a gradi di quella delle gravità specifiche. Per esempio si vede nella scala *a'* che l'alcool a 38° di Baumé corrisponde a 84° di gravità specifica, supposta 100° quella dell'acqua. Egualmente può farsi la riduzione inversa. Bibl. Univ. T. XXIV. p. 176.

(*a*) È inutile avvertire che l'uso di questo strumento è limitato a quei corpi il peso dei quali nell'aria non è maggiore di questa prima carica.

Digitized by Google

vuole sperimentare, e che supponiamo sempre più denso dell'acqua, ponendovi poi accanto il peso necessario per produrre di nuovo l'*affioramento*; e così togliendo questa seconda carica dalla prima, si ha il il peso del corpo nell'aria. Si ritira quindi l'areometro per porre il corpo nel bacino inferiore E, e immerso poi nuovamente nell'acqua, si aggiungono nuovi pesi nel bacino A, finchè l'areometro torni ad *affiorare*. Questo nuovo peso unito a quello che restava nel bacino superiore forma la terza carica della bilancia: da questa carica si sottrae la seconda, e la differenza indica il peso perduto dal corpo nell'acqua, o il peso del volume d'acqua scacciata, e per questo peso si divide quello del corpo nell'aria, e se ne ha la gravità specifica (8).

56. Se si vuol pesare una sostanza più leggiera dell'acqua, bisognerà che quando si pone nel bacino inferiore vi si fissi in qualche maniera; nel qual caso il corpo che serve per fissarvela si riguarda come una parte dell'areometro; e in tutto il resto l'operazione è simile alla precedente, se non che il peso del corpo sperimentato, diviso per il peso del volume d'acqua scacciata, dà un quoziente minore dell'unità.

Supponiamo per esempio, che essendo quattro grammi il peso del corpo, abbiamo trovato cinque grammi di differenza fra la seconda e la terza carica; si concluderà che il corpo pesa un grammo meno di quello che è necessario perchè il suo peso rappresenti quello del volume d'acqua esclusa; e poichè questo peso è 5 grammi, la gravità specifica del corpo sarà $\frac{4}{5}$ ossia 0,8.

57. Vi sono alcune sostanze che immerse nell'acqua se ne imbevono, lo che apparisce quando, posta una di queste sostanze nel bacino inferiore E, vediamo scendere nuovamente l'areometro dopo esser salito, quantunque il bacino A resti caricato del medesimo peso. In tal caso bisogna lasciare che il corpo si inzuppi di tutta quell'acqua che può ammettere nei suoi pori; e si giudicherà che ciò sia accaduto, quando l'areometro resterà in una situazione permanente: allora si farà affiorare lo strumento, e si cercherà nel solito modo il peso che il corpo ha perduto nell'acqua: si cercherà quindi il peso dell'acqua di cui si era imbevuto, pesandolo nell'aria con la maggior prestezza possibile; e sottraendo il primo peso dal secondo, si aggiungerà la differenza che ne resulta alla perdita trovata precedentemente, e così avremo la vera

(8) Questo strumento potrebbe chiamarsi l'*idrometro*, che differisce principalmente dall'areometro, in quanto che in questo il peso dello strumento è costante, e il grado dell'immersione è variabile; e nell'idrometro il peso dello strumento è variabile, e il grado d'immersione è costante.

perdita, quale avremmo trovata se il corpo non fosse stato capace di imbeversi del liquido, e quindi si proseguirà l'operazione come sopra.

Un corpo per esempio pesi 10 grammi prima dell'inzuppamento, e 2 decagrammi sia l'acqua di cui si è imbevuto, e 4 *gramm.*, 5 sia la perdita del suo peso nell'acqua, compreso l'effetto dell'inzuppamento: ora poichè i corpi, in parità di volume, perdono nell'acqua un peso tanto minore quanto maggiore è la densità loro, ne segue che questo corpo sottoposto all'esperienza, ha perduto 2 decagrammi meno che se non fosse accaduto l'inzuppamento, perchè questo equivale a un aumento di densità: dunque bisogna aggiungere 2 decagrammi alla perdita trovata di 4*gram.*, 3, onde avremo 4*gram.*, 5 per la perdita corretta: la gravità specifica del corpo, considerato come esente da inzuppamento, sarà dunque di $\frac{100}{45}$, ossia 2,2222, limitandosi a quattro decimali.

58. La doppia proprietà che ha il medesimo strumento di poter servire nel tempo stesso da vero areometro e da bilancia idrostatica, diverrebbe utile nel caso in cui non avessimo a nostra disposizione se non un liquido molto differente in gravità specifica dall'acqua stillata, e di una temperatura superiore o inferiore di molti gradi a quella da noi scelta per termine di comparazione; e il peso ottenuto per mezzo di questo liquido si ridurrebbe facilmente a quello ottenuto con l'acqua stillata a 14° di Réaumur: solamente è necessaria in questa operazione la cognizione del peso assoluto dello strumento.

Supponiamo che questo peso sia 152 grammi, e che il peso addizionale che indica al solito la prima carica, facendo uso d'acqua stillata a 14°, sia di 20 grammi: la somma di questi due pesi sarà 172*grammi*. Si supponga ora che il peso che forma la prima carica nel liquido usato in vece dell'acqua stillata, sia 20*gram.*, 5; la somma diverrà 172*gram.*, 5; ma poichè la parte immersa dello strumento è la stessa in tutti e due i casi, i pesi dei duo liquidi, a volumi eguali, ossia le gravità loro specifiche, sono nel rapporto di 1720 a 1725.

Ciò premesso, è evidente che il liquido preso in vece dell'acqua stillata, mostra immediatamente il peso assoluto del corpo che sperimentiamo. Se per esempio questo peso è 11 grammi, si cercherà il peso che perde il corpo pesato in questo liquido, e supponiamo che perda 4*gram.*, 7; ma i corpi pesati in un liquido perdono tanto maggior peso quanto è più denso il liquido, cioè le perdite di peso son proporzionali alle densità dei liquidi: dunque si avrà la perdita corretta, ossia la perdita che il corpo avrebbe fatta nell'acqua stillata a 14°, moltiplicando 4*gram.*, 7 per il rapporto $\frac{1725}{1720}$ fra le gravità specifiche dei due liquidi, e si troverà 4*gram.*, 69, perdita corretta: dividendo per questo numero

il peso assoluto, che è 11, si troverà 2,3454, vera gravità specifica del corpo, la quale, senza alcuna correzione, sarebbe resultata 2,3404 (9).

Da quanto abbiamo detto si rileva, che questo strumento quantunque sia meno preciso della bilancia idrostatica comune, è però migliore di questa per il vantaggio che ha di servire a più usi, e d'esser meno dispendioso e più facile a trasportarsi.

59. I pesci si elevano e scendono alternativamente nell'acqua, perchè son dotati di una facoltà per cui possono far variare a piacere la gravità specifica del loro corpo, per mezzo di una vescica, ordinariamente doppia, chiamata *vescica natatoria*, e che comunemente è situata sopra i visceri abdominali. Un canaletto pneumatico che mette in comunicazione la parte posteriore della bocca con la vescica, serve al pesce per introdurre in questa specie di sacco un fluido aeriforme, che varia per la sua natura secondo le diverse specie di pesci (*a*). La vescica dilatata da quest'aria produce relativamente all'animale stesso un aumento di volume che lo rende specificamente più leggiero dell'acqua, sicchè si eleva in questo liquido senza l'aiuto degli organi del moto; e quando vuole scendere non ha bisogno che di scacciare una tal porzione d'aria che basti a scemare il volume che lo rende più pesante d'un egual volume d'acqua. Alcuni pesci che son privi del canale pneumatico, sembra che operino direttamente sull'aria contenuta nella propria vescica, per comprimerla o per lasciarla dilatare.

Alcune osservazioni fatte dal dotto nostro collega Geoffroy, gentilmente comunicateci da lui stesso, provano che nelle due famiglie di pesci chiamate *diodoni* e *tetrodoni*, lo stomaco stesso fa le veci di vescica natatoria, gonfiandosi o ristringendosi secondo che il pesce vi introduce o ne scaccia una porzione d'aria; sicchè questa vescica, che nondimeno esiste pur sempre, è destinata a portarsi per mezzo d'un meccanismo particolare fra la cavità della bocca e quella dello stomaco, per opporsi

(9) Questo è il caso di un corpo solubile nell'acqua, del quale si cerchi la gravità specifica. Sia per esempio un sale: si cerchi la sua gravità specifica relativamente a un olio o a uno spirito in cui esso non sia solubile, e sia L la quantità scacciata di questo liquido; la gravità cercata sarà il peso del sale diviso per il volume del liquido scacciato, cioè $\frac{S}{L}\left(=\frac{p}{v}\right)$: la gravità specifica del liquido relativamente all'acqua A, sarà $\frac{L}{A}$; e poichè $v=L=A$, la gravità specifica del sale relativamente all'acqua sarà $\frac{S}{A}$.

(*a*) Vedi il discorso sulla natura dei pesci di Lacépéda, in cui questo gran naturalista ha discusse le più minute particolarità relative alla vescica natatoria di questi animali. *Hist. nat. des Poissons*, ediz. in 12., t. I, pag. 147. e seg.

all'uscita dell'aria, quando il pesce vuole elevarsi. Giunto esso alla superficie dell'acqua prosegue a dilatarsi, e ben presto ne nasce una tale sproporzione fra il peso del dorso e quello del ventre, che il primo divenendo superiore, l'animale si rovescia. In questo stato esso galleggia a suo piacere sull'acqua, gonfiandosi sempre più, in modo che il suo corpo, che naturalmente è di forma bislunga, prende la forma di globo, la superficie del quale coperta come di spine, presenta da tutte le parti un' arme difensiva formidabile agli altri pesci, che dopo avere spinto avanti di se questo globo, son costretti ad abbandonare il pensiero di afferrarlo (10).

Della nuova unità di peso.

60. Non lasceremo questo argomento, senza parlare di un'operazione di gravità specifica egualmente notabile per l'importanza del suo oggetto, e per la perfezione dei metodi con cui è stata eseguita, cioè l'operazione con cui è stata stabilita l'unità di peso relativa al nuovo sistema dei pesi e misure.

Il tipo comune al quale si riferiscono tutti i rami di questo sistema è l'unità delle misure lineari, o la diecimilionesima parte della distanza fra l'equatore e il polo boreale, ed è stata chiamata *metro*. Paragonando la grandezza dell'arco terrestre che si estende da Barcellona fino a Dunkerque, quale resulta dalle operazioni fatte da Delambre e Mechain, con quella dell'arco misurato al Perù verso l'anno 1740, è stato concluso che la distanza cercata, o il quarto del meridiano situato verso il polo boreale, era di 5130740 tese; dal che segue che il metro corrisponde a una lunghezza di 0^t, 513074, ossia 3 piedi e 11^l, 3 in circa.

61. L'unità di peso che si chiama *grammo* è il peso assoluto di un cubo d'acqua stillata, presa nel suo massimo grado di densità, il lato del quale è la centesima parte del metro; e vedremo in seguito che questo *massimo* grado non corrisponde al termine della congelazione, ma a qualche grado sotto. Queste precauzioni erano necessarie per fissare un termine a cui poter riferire i resultamenti di tutte le esperienze. Il liquido si trovava purgato, per mezzo della distillazione, di tutte le materie eterogenee che alterano la sua purità; e prendendo il suo massimo grado di densità si aveva un limite fra tutte le variazioni di volume che resultano dal cambiamento di temperatura. Finalmente col determinare il peso asso-

(10) Vedi in fine del presente volume una tavola della gravità specifica delle sostanze più in uso.

luto, supposto già ottenuto nel voto, veniva eliminata qualunque quantità eterogenea e variabile, cioè la quantità di peso che il corpo perde nell'aria, e che si trascura nell'esperienze ordinarie.

62. Lefebvre-Gineau ebbe la commissione di ripetere questa operazione, ossia questa riunione di operazioni tutte infinitamente delicate. Queste si solevano eseguire con un vaso cubico, il lato del quale avesse un rapporto noto col centesimo del metro, pesandolo prima solo, e quindi pieno d'acqua stillata, e la differenza dei due pesi dava il peso del volume d'acqua impiegata: ma senza farlo minutamente osservare, ognuno vede quali errori sarebbero occorsi in queste operazioni, i quali riuscivano tanto più difficili a evitarsi, quanto apparivano meno apprezzabili. Gineau che voleva essere precisissimo in questa operazione, si servì d'un altro mezzo capace d'un' esattezza molto maggiore: questo consiste nel pesare specificamente un cilindro voto di rame, di cui prima è stato paragonato il volume con quello del cubo che ha per lato il centesimo del metro. L'operazione rende noto il peso del volume d'acqua stillata eguale a quello del cilindro, e di qui si deduce il peso del cubo della medesima acqua che rappresenta l'unità cercata. Speriamo di far cosa grata esponendo con particolarità tutto l'andamento di questa operazione, e l'effetto che ne resulta.

63. La macchina destinata a misurare il cilindro era stata costruita con la massima accuratezza e intelligenza da Fortin, uno dei più esperti artisti di Parigi. Senza fermarci a darne la descrizione, basti il dire che essa fa rilevare una differenza di $\frac{1}{5000}$ e ancora di $\frac{1}{10000}$ di linea: ciò si eseguisce per mezzo di una leva che ha un braccio dieci volte più corto dell'altro, e tutto è talmente disposto, che le differenze reali che si voglion trovare, producendo nel braccio più corto moti eguali a queste differenze, i moti del braccio più lungo, che son decupli, e che quindi divengon sensibili per mezzo d'un nonio applicato all'estremità di questo braccio, fanno distinguere i due millesimi di linea misurati dai moti del braccio più corto.

Per quanta attenzione l'artista abbia usata nel costruire questo cilindro, non ostante nel formarlo non potevano evitarsi certe piccole disuguaglianze, che trascurate potevano alterare moltissimo l'effetto dell'operazione; poichè in questo caso un errore commesso sopra una sola delle due dimensioni del cilindro, cioè l'altezza e il diametro della base, è per così dire un errore cubico, e non un errore soltanto lineare, come quando si tratta di semplici distanze. È stato dunque necessario percorrere in certo modo da un'estremità all'altra la superficie del corpo, e misurare un sufficiente numero di altezze e di diametri in varii punti della convessità e della base, per ridurre la solidità del cilin-

dro, lo che era l'oggetto principale dell'operazione, alla solidità d'un cilindro perfettamente regolare e d'un egual volume.

Terminata questa operazione è stato pesato il cilindro nell'aria, ma in una maniera quanto ingegnosa altrettanto semplice, e che esclude l'inconveniente d'una benchè minima inesattezza prodotta dalla diseguaglianza dei bracci d'una bilancia, quantunque esattissima. Si pone in un bacino il corpo che vuol pesarsi, e si carica di pesi l'altro bacino finchè il flagello sia perfettamente orizzontale: quindi si ritira il corpo dal primo bacino, e si sostituisce un peso noto finchè il fusto torni ad essere orizzontale. È chiaro che il peso di questo corpo è rappresentato dai pesi che sono stati posti in sua vece sul bacino, quantunque possa darsi il caso che questa somma differisca da quella dei pesi dell'altro bacino in conseguenza di viziosa costruzione della bilancia.

Pesando in questo modo il cilindro nell'aria, abbiamo ancora il vantaggio d'avere un peso eguale a quello che avremmo nel voto. Primieramente i pesi sostituiti al cilindro essendo di egual materia di esso, il volume loro eguagliava quello della parte solida del cilindro; e in quanto a questo la perdita nell'aria era eguale da una parte e dall'altra. Ma di più a una delle basi del cilindro era stata fatta un'apertura che metteva in comunicazione l'aria interna di esso con l'atmosfera; dal che derivava che nell'atto del pesare, l'aria interna era di una densità eguale a quella di cui aveva occupato il posto il cilindro; l'aria circostante era dunque in equilibrio, e così per questa parte ancora la perdita di peso era nulla.

Fu quindi pesato il cilindro nell'acqua, e poichè allora il peso che gli faceva equilibrio era sostenuto solamente dall'aria, bisognò tener conto della piccola perdita che esso faceva in questo fluido, non essendo più comune col cilindro immerso nell'acqua. Non fu neppure trascurato il piccolo aumento di peso prodotto, relativamente al cilindro, dall'aria contenuta nel suo interno; e finalmente riducendo ciò che resultò a ciò che sarebbe resultato nell'acqua presa nella sua massima densità, si trovò che la nuova unità di peso o il grammo corrispondeva a 18 *grani*,82715 dell'antico peso di marco.

64. Termineremo ciò che riguarda questo argomento con una breve esposizione del sistema delle nuove misure. Già abbiamo detto (§. 60.) che l'unità delle misure lineari o il metro era una lunghezza di 3 piedi, 11 linee $\frac{3}{10}$. Le sue suddivisioni in parti suddecuple si chiamano *decimetro*, *centimetro*, *millimetro*, e i suoi multipli decimali *decametro*, *ectometro*, *chilometro*. Le stesso modo di divisione è stato adottato per tutte le altre specie di misure; e con le medesime espressioni iniziali, unite al nome dell'unità alla quale appartengono, si indicano i gradi

della scala relativa a ciascuna di esse. Bisogna eccettuarne le divisioni dell' unità monetaria, come vedremo fra poco.

65. Per render facile il ridurre nel momento per approssimazione una nuova misura lineare all' antica, o viceversa, si può riguardare il millimetro come quasi eguale a $\frac{4}{9}$ di linea del piede francese, ossia la linea è eguale a $\frac{9}{4}$ di millimetro: dunque il pollice equivale a 27 millimetri.

66. L' unità delle misure superficiali per il terreno è un quadrato di 10 metri di lato, e si chiama *aro*, ed equivale a circa 948 piedi quadri.

67. Si chiama *stero* una misura eguale a un metro cubico, destinata specialmente per il legname da bruciare, e corrisponde a un poco più di 29 piedi cubici.

68. L'unità delle misure di capacità è il cubo del decimetro, e si chiama *litro*, che equivale quasi a 50, 4 pollici cubici, e contiene $\frac{1}{14}$ più della pinta di Parigi, la quale contiene 46,95 pollici cubici.

69 Il *grammo* o l'unità di peso corrisponde, come abbiamo detto, a 19 grani in circa. Il chilogrammo o il peso di mille grammi equivale a 2 libbre, 5 grossi, 35 grani: l'oncia differisce pochissimo da tre decagrammi, e il grano è quasi 53 milligrammi.

70. La lira monetaria si chiama franco d'argento, la sua decima parte si chiama *decimo*, e la centesima *centesimo*.

Per stabilire questo nuovo sistema di misure, ridotte tutte a una porzione determinata della circonferenza del globo, come a loro origine comune, la Francia era il paese più opportuno, come quello che è nella situazione più favorevole relativamente al meridiano che doveva misurarsi, poichè quello che passa sopra la Francia ha il doppio vantaggio e d'esser tagliato dal parallelo medio, e di riposare con le sue estremità sulle rive dei due mari. Ma questo sistema che è fondato sulla natura, e quindi è invariabile al pari di essa, conviene egualmente a tutti i popoli. Molte Potenze straniere, invitate dal Governo Francese, hanno spedito dottissimi uomini, che uniti ai commissarii dell'istituto nazionale hanno discusso con loro le osservazioni e le esperienze, dalle quali hanno dedotte le unità fondamentali di lunghezza e di peso, concorrendo così con lo zelo e coi lumi loro a condurre a fine questa vasta intrapresa. Le scienze non hanno mai presentato uno spettacolo tanto degno di loro, quanto la riunione di questa società rispettabile, la quale mentre provava col fatto che i veri Saggi d'ogni paese non compongono che una sola famiglia, autenticava in certo modo questo sistema, il quale adottato generalmente potrebbe servire come un mezzo di più stretta unione fra le diverse nazioni.

2. DELL'AFFINITÀ O ATTRAZIONE MOLECOLARE.

71. L'attrazione per cui i corpi del nostro sistema tendono e verso il sole, e gli uni verso gli altri, non differisce da quella per cui cadono i corpi posti nelle vicinanze della terra (§. 39) Questi hanno pure una tendenza ad avvicinarsi fra loro in virtù della medesima forza; ma ne vien distrutto l'effetto dall'attrazione molto più energica che la terra esercita sopra di esse (§. 44.). Supponendo una serie di corpi, i volumi dei quali vadano sempre scemando, il raziocinio porta a concludere che la tendenza loro scambievole deve sempre più allontanarsi dal termine in cui essa principierebbe ad esser paragonabile con l'attrazione terrestre.

72. Frattanto le molecole dei corpi solidi poste all'estremità di questa serie sono incatenate l'une con l'altre da un'azione potente; ed è noto fino a qual punto molti di questi corpi resistono agli sforzi che facciamo per dividerli. Questa osservazione unita ad altre che faremo in seguito, ha suggerita l'idea d'una nuova specie d'attrazione dalla quale dipende la coesione di queste molecole, e che differisce dalla gravità in quanto che quella non opera che a contatto o quasi a contatto, e sparisce a una distanza infinitesima. Questa particolare attrazione è stata chiamata *affinità* o *attrazione molecolare*.

73. L'azione dell'affinità a tutto rigore, si estende indefinitamente intorno a ciascuna molecola: ma poichè va scemando con moltissima rapidità, sicchè a una distanza piccolissima cessa d'essere sensibile, in questo punto si riguarda come nulla, e si chiama *sfera d'attività sensibile* quella di cui il centro si confonde col centro della molecola, e il suo raggio eguaglia la suddetta distanza.

74. Frattanto un'osservazione semplicissima ci indica il modo con cui opera questa forza. Un piccolo frammento separato da una massa di metallo o di pietra, non resiste meno allo sforzo che si fa con la lima per staccarne le più piccole particelle, che quando questo frammento faceva parte del corpo; dal che si vede che tutto il resto della massa non contribuisce nulla alla forza con cui le particelle del frammento aderiscono fra loro.

75. Alcune esperienze rischiareranno questa conseguenza. Se si prendano due lastre di marmo o di vetro ben levigate, e si facciano strisciare l'una sull'altra, perchè sieno a contatto più perfettamente che sia possibile, si osserva che aderiscono fortemente fra loro. In questo caso, ciascuna delle due superficie avendo molti punti che si mettono a contatto o quasi a contatto coi punti corrispondenti dell'altra su-

perficie, ne resulta una somma di attrazioni simile in certo modo a quella che lega fra loro due parti del medesimo corpo separate da un piano immaginario. La pressione dell'aria circostante a cui verrebbe forse in pensiero di attribuire l'adesione dei due corpi, non fa che rendere più intenso questo effetto dell' attrazione, poichè posti ancora nel voto questi due corpi proseguiranno ad aderire fra loro con la stessa forza, scemata soltanto d'una quantità eguale all' azione dell'aria. Anzi questi corpi stessi oppongono alla separazione loro una maggior resistenza quando il contatto è stato prolungato per qualche tempo; dal che apparisce che l'azione prolungata della forza attrattiva produce nelle molecole certe piccole oscillazioni, per cui le parti salienti di ciascuna superficie si collocano negl' interstizii dell' altra, e quindi nasce un contatto più intimo o più perfetto fra le due superficie.

76. Se si distende sulle due superficie qualche goccia di una materia grassa prima di applicarle una sull' altra, l' adesione sarà più forte ancora, poichè le molecole grasse servono alle due superficie come di legame comune, per le attrazioni che esercitano su ciascuna di esse; e questo legame è tanto più energico, quanto queste molecole non solamente girano in certo modo sui punti in cui le superficie sono a livello, ma si insinuano nelle cavità impercettibili che interrompono questo livello, e così moltiplicano il numero dei punti attraenti.

Per giudicare della gran resistenza che questi corpi oppongono ad esser separati, basta dirigere perpendicolarmente alle superficie che sono in contatto la forza che tende a separarle; mentre si separano con la massima facilità se si fanno lentamente strisciare i due corpi l'uno sull'altro. Nel primo caso la resistenza è eguale alla somma delle attrazioni reciproche di tutte le molecole a contatto, sicchè per ottenere la separazione bisogna vincere tutte queste attrazioni con un unico sforzo: nel secondo caso al contrario la separazione si ottiene per così dire a poco a poco con azioni successive, ciascuna delle quali toglie una piccolissima porzione di molecole alla forza attrattiva che le tiene unite.

77. La figura sferica che prendono le gocce d'acqua o di mercurio tanto nell'aria quanto nel voto, presenta un' altra prova degli effetti dell'attrazione molecolare. Questa figura è tanto più esatta quanto la goccia è più piccola, e quanto il piano che la sostiene esercita meno sopra essa la sua attrazione particolare. Così la rugiada forma sulle foglie di alcune piante certi globetti che non le toccano se non in un sol punto; ma le gocce che si trovano sui vetri e sopra alcune

pietre, sono soltanto emisferiche: e poichè l'attrazione reciproca delle molecole acquee è notabilmente indebolita dall'azione contraria d'un altra causa di cui parleremo in altro luogo, se la goccia di cui abbiamo parlato ha un certo volume, la gravità le fa prendere la forma di una metà di sferoide, col suo asse minore in situazione verticale. Se al contrario la goccia è sospesa alla superficie inferiore del corpo, si allunga in modo che il grande asse della sferoide è situato verticalmente.

78. Se si fanno incontrare due gocce d'acqua o di mercurio, si vedranno riunirsi come di slancio in una sola goccia un poco prima di trovarsi a contatto. Avremo occasione di citare in seguito molti altri fenomeni dipendenti dall'affinità.

Ma questi effetti non appariscono nè più evidenti nè più maravigliosi in verun caso, quanto in quelle operazioni tanto variate, in cui la chimica mette per così dire a contrasto gli uni con gli altri gli elementi dei corpi, fa rinascere nuovamente ciò che aveva distrutto, o lo trasforma in un essere totalmente nuovo, e per via di scomposizioni e combinazioni successive ottiene certi resultamenti, che sono altrettante imitazioni fedeli di quelli della natura, ed altri ancora di cui neppur la natura le aveva dato il modello.

Dell' equilibrio fra le affinità dei principii che formano le combinazioni neutre.

Quantunque non entri nel piano di quest'opera lo sviluppare i fenomeni dipendenti dalle azioni che le molecole elementari dei corpi esercitano l'une sull'altre, non ostante l'aspetto sotto cui li riguarderemo non è estraneo alla Fisica, poichè ci fa comprendere la generalità delle leggi alle quali sono soggetti.

79. Nella combinazione scambievole di un acido con un alcali, se si supponga che la quantità d'alcali, in principio piccolissima, vada progressivamente crescendo relativamente alla quantità d'acido, vi sarà un punto in cui le proprietà dei due principii spariranno, dimanierachè, per esempio, se il sale che resulta dalla combinazione è solubile non altererà il colore d'una tintura azzurra vegetabile con cui venga mescolata: allora si dice che la combinazione è nello *stato neutro*.

Si usa il nome di *saturazione* per indicare il termine in cui essendo già soddisfatte le affinità reciproche dei due principii, uno di essi non è più capace di unirsi con una nuova quantità dell'altro: ma questo termine non corrisponde mai a quello che forma lo stato neutro. Procuriamo di rischiarare questa distinzione secondo l'idee di Laplace.

Digitized by Google

Quando un'acido è unito con un alcali, possiamo immaginare che le molecole dell'acido operino coi loro centri d'azione (§ 41.) sulle molecole dell'alcali che sono intorno a quelle, in modo da formare altrettante piccole sfere, i centri delle quali sarebbero occupati da questo acido stesso, e la combinazione dei due principii sarà quella che darà il termine di saturazione, se l'alcali è nella proporzione richiesta, purchè il raggio d'ogni piccola sfera sia eguale a quello della sfera d'affinità sensibile dell'acido per rapporto all'alcali (§. 73.) In vece di questa ipotesi potremmo ancora supporre che le piccole sfere fossero composte di molecole d'acido, e avessero i centri loro occupati dall'alcali. Perchè abbia luogo saturazione, bisognerà ancora che il raggio d'ognuna di queste sfere sia eguale a quello della sfera d'affinità sensibile dell'alcali per l'acido; ed è chiaro che in tal caso le quantità relative d'acido e d'alcali saranno le stesse che nel caso precedente, poichè ognuna delle due ipotesi non è che una maniera equivalente di concepire le azioni reciproche dei due principii che formano la combinazione.

80. Supponiamo ora che essendo occupati dall'alcali i centri delle piccole sfere, si metta una tintura azzurra vegetabile a contatto col sale, e che resti inalterata. Le molecole colorate possono operare per affinità tanto sull'acido che sull'alcali, e poichè nel nostro caso questa affinità non produce verun effetto, se lo consideriamo soltanto relativamente all'acido, concluderemo che essa è in equilibrio con quella esercitata dall'alcali sulle parti di questo acido, le quali compongono lo strato esteriore della piccola sfera, o quella con cui sono in contatto le molecole azzurre: in tal caso il sale, relativamente alla tintura vegetabile, è in uno stato neutro, ma non per questo vi è saturazione, poichè se ciò fosse, l'azione dell'alcali sull'acido terminerebbe alla superficie della piccola sfera; e l'affinità del color azzurro potendo esercitare liberamente la sua azione, le molecole colorate combinandosi con una parte d'acido diverrebbero rosse.

Così quando in un'esperienza qualunque simile alle citate, si osservano in un sale i caratteri dello stato neutro, ciò indica che il raggio della sfera d'affinità sensibile dell'alcali per l'acido, si estende più di quella delle piccole sfere che si suppongono composte della materia dell'acido; dimanierachè queste sfere posson crescere con l'aumento d'un nuovo strato d'acido, finchè i due raggi sieno divenuti eguali. Dunque lo stato di saturazione deve considerarsi come un termine assoluto; mentre lo stato neutro non è che un termine relativo, che dipende dalle reciproche affinità fra l'acido o l'alcali, e la sostanza colorante messa a contatto col sale.

Può qui servire d'esempio il solfato di potassa, una soluzione del

quale tinge di rosso le tinture azzurre vegetabili, perchè la quantità d'acido, relativamente a quella dell'alcali, oltrepassa il termine che forma lo stato neutro, e si avvicina al limite della saturazione. In questo caso i sali si chiamano *sali con eccesso d'acido*, o *sali aciduli*.

Ciò che abbiamo detto d'un alcali deve intendersi generalmente di qualunque base capace di combinarsi con gli acidi. Al contrario si trovano alcuni sali in cui la quantità d'alcali, relativamente alla quantità d'acido, oltrepassa il punto da cui dipende lo stato neutro, dimanierachè l'azione loro fa divenir verdi le tinture azzurre vegetabili; e questi sali son chiamati dai chimici *sali con eccesso d'alcali*, o *sali alcalini*; come il borato di soda, comunemente detto *borace*, e il carbonato di soda.

81. Questo modo di rappresentare ciò che proviene dalle combinazioni prodotte dagli acidi o dagli alcali, serve a spiegare ciò che accade ai due sali neutri, che mescolati insieme mutano le basi loro in modo che i nuovi prodotti ancora di questa operazione sono in uno stato neutro.

La teoria e l'esperienza perfettamente d'accordo fra loro su questo proposito, ci fanno conoscere una proprietà singolarissima dell'affinità, cioè che la sua legge in ragione delle distanze è la stessa per tutti i corpi, sicchè le differenze fra le azioni di questi corpi medesimi non dipendono che dalla maggiore o minore intensità dell'affinità particolare di ciascuna di esse.

Per render più chiara con un esempio questa verità, figuriamoci una particella d'acido solforico posto nel centro d'una piccola sfera composta d'un alcali qualunque, in modo che vi sia saturazione, e indichiamo con a la quantità di questo alcali. Sostituiamo ora l'acido idroclorico all'acido solforico e supponiamo che l'azione del primo sia una volta meno intensa di quella del secondo. Perchè l'acido idroclorico saturi la stessa quantità a d'alcali, nella supposizione che la legge relativa alle distanze sia la stessa per una parte e per l'altra, bisognerà che la particella di questo acido posta nel centro della piccola sfera, abbia una massa doppia di quella della particella d'acido solforico in vece di cui è stata posta. Supponiamo per secondo caso che quest'ultima particella sia capace di saturare una quantità di calce eguale a $2a$; ne verrà per conseguenza che bisognerà un'egual quantità $2a$ di calce per saturare la particella d'acido idroclorico: infatti l'acido solforico essendo capace di saturare due sfere composte l'una di a d'alcali, l'altra di $2a$ di calce; e l'acido idroclorico essendo nella proporzione che si richiede per saturare la sfera composta di a d'alcali, bisognerà che la sua azione sulla sfera composta di $2a$ di calce, giunga

al termine della saturazione, poichè essendo la stessa la funzione della distanza da una parte e dall'altra, ancora i limiti dell'azione devono esser gli stessi.

Si può supporre che la quantità a d'alcali e la quantità $2a$ di calce, minori di quella che richiede la saturazione, bastino soltanto a ridurre, per esempio, l'acido solforico allo stato neutro; e in tal caso l'unione delle stesse quantità con l'acido idroclorico formerà nuovamente lo stato neutro in grado eguale, cioè i raggi delle piccole sfere, i centri delle quali si suppongono occupati dai due acidi, differiranno della stessa quantità dai raggi delle sfere d'attività sensibile degli acidi stessi sull'alcali e sulla calce.

In conseguenza di questa teoria, se si mescolino insieme due sali neutri, che abbiano le condizioni necessarie per cambiarsi reciprocamente le basi (*a*), come accade relativamente all'idroclorato di barite e al solfato di soda, i nuovi sali che resulteranno da questa mescolanza, e che in questo caso saranno solfato di barite, e idroclorato di soda, si troveranno a vicenda nello stato neutro. Se in fatti i due primi sali sono in un rapporto tale che la quantità, per esempio, di barite contenuta nell'idroclorato di barite, sia quella che appunto si richiede per neutralizzare la quantità d'acido solforico contenuto nell'altro sale, la quantità di soda contenuta in questo, sarà pur quella che è capace di neutralizzare la quantità d'acido idroclorico contenuto nell'idroclorato di barite. Se al contrario uno dei due sali, come il solfato di soda, è in una proporzione maggiore del bisogno, non se ne scomporrà che la porzione necessaria, affinchè i prodotti dell'operazione arrivino al grado che corrisponde allo stato neutro, e il resto rimarrà come estraneo alla combinazione, conservando il suo stato primitivo senza che venga resa libera alcuna porzione d'acido o di base.

82. Era già stata osservata questa correlazione fra le affinità nella mescolanza di varii sali neutri; ma le particolari quantità della base n dell'acido, che molti chimici avevano assegnate per i medesimi sali, non erano eguali a quelle che son necessarie alla permanenza nello stato neutro, come fu evidentemente provato da Guyton, il quale concluse che queste quantità non erano esatte (*b*).

Le ricerche fatte in seguito da Berthollet, hanno servito a verificar sempre più l'esistenza delle leggi che abbiamo esposte, cavate dalla

(*a*) *Statique chimique*, t. I. p. 94. e seg.

(*b*) *Memoires de l'Institut national, scienc. mathem. et phys.* t. II. pag. 326. e seg. Si veda ancora nella *Statique chimique*, t. I. p. 134. ciò che con le sue esperienze trovò Richter, prima di Guyton, volendo stabilire il vero rapporto fra le quantità di base e d'acido contenute nei sali più comuni.

bella teoria di questo celebre chimico sulle affinità (c), e della quale diamo qui i principali resultamenti, quali egli stesso ce li ha comunicati. Se si mescola una soluzione di nitrato o d'acetato di barite perfettamente neutro, con una soluzione di solfato di potassa o d'ammoniaca, che sia neutro in egual grado, il cambio di base che si fa fra i due sali produce un precipitato di solfato di barite; e il sale che resta in soluzione si conserva in uno stato perfettamente neutro. Lo stesso accade quando si mescola idroclorato o nitrato di calce con solfato di potassa o di soda, nel qual caso precipita solfito di calce, e quando si mescola solfato di magnesia con idroclorato o nitrato di barite o di stronziana, e in tal caso precipita solfato di barite o di stronziana. La stessa proprietà si estende ai sali metallici che posson ridursi allo stato neutro: così la mescolanza di nitrato d'argento con l'idroclorato di potassa o di soda, produce un precipitato di idroclorato d'argento, e tutto resta come prima nello stato neutro.

Paragone dell'Affinità con la Gravità.

83. Era nell'ordine naturale dell'argomento che noi dovessimo riguardare quest'attrazione, la quale non si manifesta che a un prossimo contatto dei corpi, come assolutamente indipendente dalla gravità, la quale opera liberamente a traverso dell'immenso intervallo che separa i corpi celesti. Quindi è che un gran numero di fisici, fra i quali Newton per il primo, pensarono che l'affinità doveva esser soggetta a una legge più rapida di quella della ragione inversa del quadrato delle distanze, e che probabilmente seguiva la ragione inversa del cubo.

84. Per meglio concepire la differenza, che secondo questa opinione esisterebbe fra gli effetti delle due attrazioni, consideriamo di nuovo un corpo sferico *p n x* (*fig.* 2.), il quale eserciti l'attrazione, con tutte le sue molecole in ragione inversa del quadrato delle distanze, sopra una molecola *m* posta a qualunque distanza. Abbiamo già veduto (§. 41.) che l'attrazione totale che in questo caso resulta da tutte le attrazioni particolari, relativamente alla molecola *m*, è quale sarebbe se tutta la materia della sfera fosse riunita nel centro.

Ma, in questa ipotesi, non accaderà mai che l'attrazione a contatto sia infinita, relativamente a quella che aveva luogo prima del contatto; poichè il raggio della sfera che misura la distanza dal centro d'azione nel primo caso, sarà sempre in un rapporto finito con la distanza

(c) *Stat. chimiq.* t. I. *Memoires de l'Instit.*, *scien. phys. et mathem.* t. III. p. 1 e seg.

che ha luogo fuori del contatto, e così le attrazioni stesse potranno paragonarsi fra loro (*a*).

85. Sia un'altra sfera *p n x* (*fig.* 4.), composta di particelle che esercitino la loro azione in ragione inversa del cubo delle distanze, sopra una molecola *m* situata esteriormente a una distanza sensibile, e supponiamo nuovamente che tutte le molecole attraenti vadano a riunirsi nel centro *c*: in tal caso le attrazioni delle particelle che si allontaneranno dalla molecola *m*, scemeranno in generale in un rapporto maggiore di quello in cui cresceranno le attrazioni delle particelle che si avvicineranno ad essa: dunque la perdita essendo minore del guadagno, l'attrazione totale delle particelle riunite in *c*, sarà diventata più debole di quella che esse esercitavano da tutti i punti della sfera; e però per stabilire l'eguaglianza d'attrazione, bisognerà supporre che il centro d'azione sia situato in qualche punto *c'* fra il centro *c* e la superficie della sfera.

Avviciniamo a questa medesima superficie in un punto qualunque *m'* la molecola attratta; in tal caso, finchè le particelle della sfera proseguono a muoversi verso il centro, le attrazioni decrescenti, in paragone di quello che guadagneranno le attrazioni crescenti, perderanno più di quello che perdevano nel caso in cui la molecola attratta era in *m*; dal che si vede che il centro d'azione si troverà in qualche punto *c''* sempre più vicino alla superficie. Così a misura che scema la distanza fra la molecola attratta e la superficie della sfera, il centro d'azione, in vece di restar fisso come nell'ipotesi precedente, si avvicina continuamente a questa superficie, e l'attrazione cresce in una progressione che ha l'infinito per limite, trovandosi questo nel punto di contatto: quindi è che essa in tal caso è infinitamente maggiore di quello che sarebbe a una distanza sensibile dal contatto; il qual effetto apparirà tanto meglio, se si supponga che l'attrazione scemi in un rapporto maggiore di quello della ragione inversa del cubo. Questi resultamenti che erano conformi all'osservazione di ciò che accade nei fenomeni manifestati dalle molecole elementari dei corpi, sembravano indicare una linea di separazione fra la forza che spinge queste molecole, e quella che regola le grandi masse del nostro sistema planetario.

86. Vi sarebbe nondimeno una maniera di conciliare le azioni di queste due forze, adottando una bellissima idea di Laplace, la quale consiste nel supporre, che le distanze fra le molecole d'un corpo sieno incomparabilmente maggiori dei diametri di queste molecole, sicchè

(*a*) *Newtonis*, *Princ. mathem*, *propos.* 81, *theor.* 41, *corol.* 2.

la densità di ciascuna molecola sia molto maggiore della densità media dell'aggregato, o di quella di tutto il corpo, se tutta la materia delle molecole fosse distribuita uniformemente nell'interno di esso. In questa supposizione il contatto renderebbe la molecola attraente posta in questo punto, molto superiore in forza all'attrazione esercitata a una distanza finita dal contatto, come resulta dall'osservazione, e così la scena delle affinità diverrebbe dipendente dall'attrazion planetaria. Questa ipotesi sembra resa ancor più probabile da molti fenomeni, e principalmente dalla massima facilità con cui i raggi della luce passano a traverso dei corpi in qualunque direzione: quindi le differenze che osserviamo negli effetti dell'affinità, dipenderebbero dalle forme delle molecole elementari. Nondimeno sono sempre troppo scarse le nostre cognizioni, per poter applicare il calcolo alle azioni intime che i corpi mossi dall'affinità esercitano gli uni sugli altri, e per trattare questo delicato ramo di Fisica con quello strumento di cui Newton e i suoi successori si servirono per elevare la teoria dei fenomeni celesti a un sì alto grado di perfezione.

Di alcune proprietà dei corpi solidi che hanno relazione con l'Affinità.

DELLA DUREZZA.

87. La durezza è la resistenza che un corpo oppone alla separazione delle sue molecole; e tal proprietà dipende dalla forza di coesione e insieme dalla disposizione delle molecole, dalla figura di esse e da altre circostanze. Un corpo si dice tanto più duro quanto più resiste all'attrito d'un altro corpo duro, come una lima d'acciaio, o quanto più un altro corpo resiste all'attrito di quello. Infatti i lavoratori di pietre dure giudicano della durezza d'una pietra o di qualunque altro corpo che appartenga all'arte loro, dalla difficoltà che incontrano nel levigarlo, presentandolo all'azione della ruota.

88. Il diamante è il più duro di tutti i corpi conosciuti, e le faccette artificiali per cui brilla la vivacità dei suoi reflessi, sono opera del diamante stesso, col quale soltanto, o sodo o in polvere, può esser levigato o tagliato.

89. Abbiamo indicato l'attrito piuttosto che la percossa come una certa misura della durezza dei corpi, perchè la resistenza che questi oppongono alla prima di queste forze, non è sempre indizio di quella che son capaci di opporre alla seconda; e il vetro infatti, quantunque più duro del legno, cede alla percossa più facilmente di esso; e il diamante

medesimo si divide a forza di martello, mentre altri corpi non cedono a questa forza. Questa proprietà di alcuni corpi di cedere più facilmente alla forza di percossa, per spezzarsi, è stata indicata col nome di *fragilità*; e però non si devon confondere i corpi *fragili* coi corpi *teneri*, i quali sono in opposizione coi corpi *duri*. Non v'è forse un corpo, la fragilità e la durezza del quale sieno più fortemente in contrasto fra loro, quanto una pietra verdastra trasparente e molto laminosa, che si trova al Perù, chiamata *euclasia*, la quale dopo aver ceduto con moltissima difficoltà agli sforzi fatti per levigarla, si divide in scheggie in un modo maraviglioso per effetto di una leggerissima pressione.

DELL'ELASTICITÀ E DELLA DUTTILITÀ.

90. L'azione di un corpo sopra un'altro può esser tale che non ne resulti l'intera separazione delle sue parti, ma una semplice rimozione delle sue molecole, lo che produce un cambiamento nella sua figura o ancora nel suo volume. Si chiamano *compressibili* i corpi capaci di mutar figura in virtù dell'azione di una causa esterna; e da questo genere d'azione deriva un nuovo ordine di fenomeni che si suddividono in due classi: nell'una il corpo che ha sofferto un cambiamento ha la proprietà di tornare a prendere di nuovo naturalmente la sua prima figura, appena cessa la causa che gliel'aveva fatta cambiare, come una lama d'acciaio che sia stata curvata si raddirizza appena è lasciata a se stessa. Questa proprietà si chiama *elasticità*, ed *elastici* si dicono i corpi che ne sono dotati. Nell'altra classe il corpo conserva la nuova figura che ha preso in forza della compressione: così una lama di piombo conserva una piegatura, ancorchè cessi la causa da cui è stata piegata. Esaminiamo particolarmente queste due classi di fenomeni.

91. Il ritorno dei corpi elastici alla forma loro naturale non accade tutto a un tratto, e con un moto unico contrario in direzione a quello che ha prodotto il cambiamento di forma, ma le molecole di questi corpi fanno certe vibrazioni che li trasportano successivamente al di qua o al di là delle situazioni loro primitive, con oscillazioni che vanno sempre scemando finchè le molecole sieno di nuovo tornate alle prime loro situazioni.

Tali vibrazioni appariscono principalmente in una maniera visibilissima nelle corde di alcuni strumenti da musica, come vedremo parlando del suono; e si osservano parimente in una lama d'acciaio fissata a una estremità, e curvata poi con una pressione esercitata sull'altra, lasciandola quindi vibrare liberamente.

Digitized by Google

92. L'urto di un corpo duro produce simili effetti sopra una palla d'avorio, ma tanto rapidi che i nostri sensi non possono accorgersene, come neppure possono accorgersi del cambiamento di figura che ne deriva; mentre il tutto diventa visibile, se si lasci cadere una di queste palle d'avorio sopra un piano di marmo nero coperto di un leggiero strato d'olio, poichè se si guarda allora obliquamente il piano percosso, si vede nel punto di contatto una macchia rotonda tanto più esteso, quanto maggiore è l'altezza da cui è caduta la palla. Eppure se le palla avesse conservato la sua figura, non avrebbe potuto toccare il piano se non che in un sol punto; e quantunque il marmo possa provare esso pure una depressione, e subito ristabilirsi, non possiamo dubitare che la palla non abbia contribuito col cambiamento di sua figura alla dilatazione dall'accennata macchia: dunque in questa esperienza vediamo doppio l'effetto che consideriamo.

93. Ecco come deve concepirsi il modo con cui la palla prende di nuovo la sua primitiva figura con una gradazione insensibile e quasi istantanea. Nel momento dell'urto le parti più prossime al contatto son respinte verso il centro, mentre un moto contrario spinge le parti più lontane, per la qual cosa il globo prende una forma schiacciata nella direzione del suo asse verticale, e allungata nella direzione dell'orizzontale: cessato l'urto accadono sul globo stesso due cambiamenti opposti, cioè la parte schiacciata si allunga di nuovo, e la parte allungata nuovamente si schiaccia, i quali cambiamenti di figura vanno succedendosi sempre in progressione decrescente, finchè il corpo torni alla figura che aveva prima dell'urto.

In conseguenza appunto del rilassamento che accade dopo l'urto, la palla dopo aver colpito la tavoletta di marmo risale verso il punto da cui era caduta. Quando due corpi elastici si urtano, il rilassamento imprime in essi velocità contrarie al moto che li aveva portati uno verso l'altro; e i geometri hanno rappresentato per mezzo di formule i rapporti di queste velocità nei diversi casi ai quali si estende il fenomeno.

94. Esistono alcuni corpi che sono nel tempo stesso durissimi ed elasticissimi in modo, che queste due proprietà sembrano essere in un rapporto strettissimo fra loro; ed è noto fino a qual grado vadano esse crescendo nell'acciaio in virtù dell'operazione della tempera.

95. I fisici che hanno voluto spiegare la teoria dell'elasticità, hanno osservato che quando si tende un arco o qualunque altro corpo elastico, le molecole situate dalla parte convessa si allontanano l'une dall'altre, e quelle della parte concava si ravviciuano: ma fra tutte le cause ammesse da loro per spiegare il ristabilimento di questi corpi nello stato

loro primitivo, come l'attrazione, la resistenza d'una materia sottile particolare sparsa fra le molecole dei corpi stessi, l'azion del calorico, ec., nessuna basta a dare una spiegazione soddisfacente del fenomeno.

96. Se il ferro convertito in acciaio e lavorato artificialmente ci serve a tanti usi, dobbiamo tal vantaggio all'elasticità di cui esso è dotato: da questa prendono forza le molle a spirale che producono il moto degli orioli e altre macchine destinate a misurare il tempo. Ma in questo caso l'indebolimento della molla che si distende diverrebbe una causa di ritardo, relativamente a un moto, la giustezza del quale consiste appunto nell'uniformità. Per impedire questo inconveniente si dà la figura di un cono tronco al fuso sul quale è avvolta la catena tirata dalla molla, nel qual fuso il rapporto fra i diametri dei circoli paralleli alle basi è combinato con le variazioni della forza motrice. Nel primo momento in cui questa forza è nel massimo grado d'intensità, la porzione della catena tirata da essa riposa sulla spira più stretta del fuso, e a proporzione che la molla si va indebolendo per effetto della sua dilatazione, vanno aumentando le circonferenze delle spire alle quali corrispondono le porzioni della catena che si sviluppano. Così, da una parte il braccio della leva, sul quale opera la resistenza del sistema delle ruote, resta costante, poichè esso non è altro che il raggio della ruota del fuso, il moto del quale si comunica sempre più da vicino fino alle lancette. Dall'altra parte il braccio della leva su cui il motore esercita la sua potenza, nel punto in cui lascia la catena nello svolgersi, divieue continuamente più lungo, sicchè la potenza motrice riguadagna ad ogni momento con l'allontanarsi dal punto d'appoggio ciò che perde in intensità, e tutto accade come se i due bracci della leva fossero perfettamente eguali. Tutta la Meccanica è piena di applicazioni egualmente importanti e ingegnose della forza della elasticità, da essa dipende l'esplosione istantanea dell'armi a fuoco portatili, l'azione delle lame flessibili che rendono tanto comodo il moto delle carrozze, e le corde di quelli strumenti che con le vibrazioni loro, combinate con quelle dell'aria, allettano in varie maniere l'orecchio.

97. Non vi son corpi perfettamente elastici, come non ve n'è forse alcuno perfettamente duro, ma in questo caso, come relativamente a un gran numero d'altri fenomeni, limiteremo l'osservazione dove la qualità cessa di comparire ai sensi, e riguarderemo come non elastici quei corpi, che dopo essere stati compressi e forzati a cambiar figura, restano nel medesimo stato, come pure quelli che resistono assolutamente alla compressione.

98. Si chiama *duttilità* la facilità che hanno i primi corpi, e spe-

cialmente certi metalli, di schiacciarsi per effetto di pressione o di percossa, in modo da conservare la figura che hanno presa in virtù di una di queste due forze. In tal caso le molecole strisciano l'une sull'altre in modo che i punti di contatto, quantunque rimossi dal loro posto, restano sempre tanto vicini da poter aderire fra loro.

99. Paragonando l'elasticità, la duttilità e la durezza nei sei metalli più noti, si trova che l'elasticità e la durezza seguono lo stesso ordine; e l'ordine in cui si succedono i metalli relativamente a queste due qualità è il seguente: *ferro*, *rame*, *argento*, oro, *stagno* e *piombo*. Le duttilità, relativamente ai quattro primi metalli, seguono un ordine inverso di quello delle altre due proprietà, e l'ordine è questo: *oro*, *argento*, *rame*, *ferro*. Relativamente poi a tutte e tre le proprietà riunite, lo stagno occupa il quinto posto, e il piombo il sesto; sicchè questi due metalli sono i più teneri, i meno elastici e i meno duttili di tutti; e questa mancanza di duttilità può derivare egualmente e dalla gran forza d'adesione fra le molecole dei corpi duri, e dalla facilità con cui questa adesione può venir rotta totalmente dai corpi teneri.

100. Vi sono alcuni corpi che son duttili e a caldo e a freddo, e tali sono ancora i metalli: alcuni altri, come il vetro, acquistano la duttilità per mezzo del calore; altri finalmente, come l'argilla, divengono duttili con l'interposizione di un liquido fra le loro molecole.

101. La duttilità, che è una qualità utilissima nei metalli quando si tratta di estenderli o di applicarli sulla superficie dei corpi, come si fa, più che di qualunque altro, dell'oro, metallo che è più duttile d'ogni altro, diviene anzi un ostacolo quando si adoprano in massa; e le opere fatte con questi metalli, lavorati nello stato loro naturale, avrebbero poca consistenza, e sarebbero soggetti a perdere la forma e la levigatezza ricevuta dalla mano dell'artefice. Si rimedia a questo inconveniente, mescolando in lega col metallo che si lavora un altro metallo, le molecole del quale, interposte fra quelle del primo, le connettano più fortemente fra loro. Per mezzo di questa lega le arti giungono a rendere i metalli e più duri e più sonori, ne modificano a piacere le proprietà, e li trasformano in altri metalli intermedii adattati ciascuno a un uso particolare.

102. Si dice *molle* un corpo quando le sue parti cedono facilmente alla pressione, e conservano non ostante una certa adesione fra loro. L'effetto di questa pressione si conserva in molti corpi senza che ne segua il ritorno alla forma loro primitiva, e in tal caso si può considerare la mollezza come un alto grado di duttilità, come nell'argilla

inzuppata d'acqua, la quale prenderemo per esempio. Ma il termine di *mollezza* ha un'estensione assai maggiore di quello di *duttilità*, perchè esistono alcuni corpi che sono nel tempo stesso e molli ed elastici: tale è il *caoutchouc*, che per questa ragione appunto è stato chiamato *gomma elastica* (11).

Della cristallizzazione.

103. L'azione dell'affinità sulle molecole della materia non è stata considerata fin qui che come il mezzo usato dalla natura per compor masse di diversi volumi. Ma noi abbiamo supposto queste molecole come se fossero sottoposte nell'azione loro alla sola condizione di mettersi quasi in contatto l'une con l'altre, senza far conto dell'influenza che le forme e le situazioni loro particolari, potevano avere sulla struttura e sulla figura delle masse. Dobbiamo ora parlare del più singolare effetto di questa medesima affinità, cioè della disposizione regolare delle molecole di alcuni corpi in forma geometrica.

Appartiene alla chimica lo sviluppare le circostanze che producono questo fenomeno, in cui le molecole, separate in principio le une dall'altre con l'interposizione d'un liquido, si avvicinano nuovamente e si riuniscono in forza delle attrazioni loro scambievoli, a misura che le molecole del liquido le abbandonano per via d'evaporazione o in qualunque altra maniera. Questa operazione è stata chiamata *cristallizzazione*, e *cristalli* sono stati chiamati i corpi regolari che ne sono il prodotto.

La formazione dei sali che si forman continuamente sotto i nostri occhi per mezzo dei dissolventi che adopra il chimico, non è altro che un'imitazione di ciò che accade nell'immenso laboratorio della natura, e della maniera con cui sono stati prodotti tutti quei cristalli di differenti specie, che coprono certe cavità del globo terrestre, o che si trovano imprigionati in alcune terre.

104. E qui si osserva una differenza notabilissima fra i minerali e gli esseri organizzati. Il vegetabile per esempio trae la sua origine da un germe sviluppato per via di nutrizione, il quale però nello svilupparsi conserva la sua forma, l'effigie del quale vien poi trasmessa per via di riproduzione agli individui in cui si propaga la specie: tutti questi

(11) Il *coautchouc* è una sostanza bituminosa distinta da tutte le altre per una vera elasticità. Fu trovato in Inghilterra nel Derbyshire nel 1758, ed è assai raro e poco conosciuto, non essendosi trovato che in quel paese, nelle fessure d'uno schisto argilloso.

Digitized by Google

hanno i fiori composti di parti eguali in numero, e simili per disposizione e per figura, come pure nelle foglie si osservano gli stessi caratteri, relativamente ai contorni di esse o rotondi o angolari, uniti o dentellati; e qualunque diversità non dipende che da piccolissime e leggiere gradazioni; sicchè si può dire che chi ha veduto un individuo, ha veduta la specie intera.

Ma il minerale non è che una riunione di molecole simili tenute insieme dall'affinità; esso cresce per via di sovrapposizione di nuove molecole che si applicano alla sua superficie, e la sua configurazione, la quale dipende unicamente dall'ordine in cui si pongono le molecole, può variare per diverse circostanze: di qui nasce quella moltitudine di forme differenti, e nel tempo stesso regolari e ben distinte che si osservano nei cristalli d'una stessa sostanza. Così la combinazione della calce con l'acido carbonico, o la calce carbonata, presenta ora la forma d'un romboide, cioè d'un parallelepipedo terminato da sei rombi eguali e simili, ora quella d'un prisma esaedro regolare, qua è un dodecaedro terminato da dodici triangoli scaleni, altrove è pure un dodecaedro ma a facce pentagone, ec.

105. Tutte queste forme diverse sotto cui si può presentare uno stesso minerale, e che alle volte son tanto diverse fra loro, si rassomigliano però sempre in certo modo; e quantunque non abbiamo finora potuto scoprire le leggi a cui l'Essere Supremo ha sottoposte le forze che li producono, conosciamo però le leggi che seguono nell'ordinarsi le molecole che concorrono a formarli. Esporremo in breve la teoria di queste leggi, la considerazione delle quali appartiene alla fisica.

DELLE FORME PRIMITIVE DEI CRISTALLI.

106. Già da gran tempo era stato osservato che un gran numero di minerali, e principalmente quelli che hanno forme regolari, son composti di lastre che possono esser separate l'une dall'altre, talmente che i frammenti di questi corpi staccati per mezzo di percosse, hanno le facce piane, lisce e più o meno brillanti.

107. È stata chiamata *divisione meccanica* l'operazione con cui si giunge a fare quasi l'anatomia d'un cristallo, trovando, per mezzo d'uno strumento a taglio, come una lama d'acciaio, le giunture naturali dei suoi strati componenti; e questa operazione eseguita su tutti i minerali su cui può eseguirsi, conduce a un resultamento generale, che è come la chiave della teoria delle leggi relative alla loro struttura. Ciò si ottiene dividendo diversi cristalli originarii di una stessa sostanza con tagli, che corrispondano su tutte le parti simil-

mente situate, e così si giunge a estrarre un solido regolare che è costante per tutti questi cristalli, e ancora per quelli di forme diverse. Due o tre esempii basteranno per far concepire questo fatto.

108. Sia *abef* (*fig.* 5.), il prisma esaedro regolare, che è una delle varietà della calce carbonata: si troverà che fra i sei canti *in*, *nc*, *ab*, ec. della base superiore, ve ne son tre che si possono meccanicamente dividere. Sia *in* un di questi: la division meccanica si eseguirà nella direzione di un piano *psut*, inclinato 135° tanto sulla base *abcnih* quanto sulla faccia *inef*. I due canti *bc*, *ah*, potranno dividersi in una maniera analoga alla precedente, senza che possa eseguirsi una simile divisione sui tre canti intermedii *cn*, *ab*, *ih*.

Accaderà l'opposto relativamente alla base inferiore *gfedrk*, poichè i canti di questa base che possono esser divisi, saranno opposti ai canti non divisibili dell'altra base, cioè saranno i canti *de*, *gf*, *kr*. Il piano *lqyz* rappresenta la sezione fatta su questo ultimo canto. Dunque si avranno sei piani scoperti dalle sezioni; e se si proseguono le divisioni sempre parallele a queste sezioni, finchè scompariscano tutte le facce del prisma esaedro, si giungerà a un romboide che ne è come il nocciolo, e che è rappresentato dalla figura in quanto alla sua situazione relativamente al prisma. Il grande angolo E A I d'una faccia qualunque di questo romboide, come resulta del calcolo, è di 101° 32′ 13″. (*a*).

Qualunque altro cristallo della medesima specie, diviso meccanicamente, darà un resultamento analogo, poichè basta trovare le direzioni dei tagli che conducono ad ottenere il romboide centrale. Così per ottenere tutto a un tratto il nocciolo del dodecaedro a triangoli scaleni (*fig.* 6.), si farà passare un piano per le due linee EO, OI, un altro per le linee IK, KG, un terzo per le linee GH, HE, e si troverà già scoperta la metà superiore del nocciolo: tre altre sezioni fatte una sulle linee OI, IK, l'altra sopra KG, GH, e l'ultima sopra HE, EO, termineranno di scoprire il nocciolo. Si veda la *figura* 7, che rappresenta questo nocciolo inscritto nel dodecaedro.

109. Fra le varietà della medesima sostanza, si osservano molti romboidi differentissimi dal nocciolo in quanto alla misura degli angoli loro; ma ciascuno di questi romboidi ne contiene un altro che è simile al nocciolo. Per esempio, il romboide che si vede nella *figura* 8, e in cui l'angolo al vertice è acuto, e ha per misura 75° 31′ 20″, si suddivide con piani che tagliano i canti estremi; cioè, da una parte *ns*,

(*a*) Nel trattato di cristallografia abbiamo inserito un articolo, espressamente per indicare il rapporto da cui è stata dedotta questa misura.

us, *ts*, e da un' altra parte *n's*, *u's'*, *t's'*, facendo angoli eguali con le facce che essi staccano; e ne resulta così un romboide ottuso AA' che ha gli stessi angoli di quello che si estrae dal prisma esaedro regolare, e che è talmente situato, relativamente al romboide circoscritto, che le sue facce son parallele ai canti di questo, come deve accadere in conseguenza di ciò che abbiamo detto. Questa modificazione di una forma che sembra servire come di velo a se stessa, ha qualche cosa di più singolare ancora delle diversità che rendono alcune altre forme come estranee, relativamente al loro nocciolo.

110. Se si prende un cristallo d' un' altra specie, il nocciolo si troverà mutato, e se sarà pure un romboide, avrà angoli diversi; sicchè in una specie sarà un cubo, in un'altra sarà un prisma retto a basi romboidali, ec. Noi chiamiamo *forme primitive* quelle di questi solidi inscritti ciascuno in tutti i cristalli che appartengono a una medesima specie, e *forme secondarie* quelle che son diverse dalla forma primitiva, la quale talora è prodotta immediatamente dalla cristallizzazione.

111. Le forme primitive osservate sono in generale in numero di cinque, cioè, il tetraedro, che in questo caso è sempre regolare; il parallelepipedo che è ora romboidale, ora cubico, ec.; l'ottaedro il quale ha la superficie composta di triangoli, che secondo le diverse specie sono equilateri, isosceli o scaleni; il prisma esaedro regolare; e il dodecaedro, la superficie del quale è composta di dodici rombi eguali e simili, inclinati fra loro ad angolo di 120°. Il prisma esaedro regolare che apparisce qui fra le forme primitive, diventa, come abbiamo veduto (§. 108.), forma secondaria, relativamente alla calce carbonata; e non è questo il solo esempio di questa proprietà che ha uno stesso solido di raddoppiarsi in certo modo con la varietà delle sue funzioni.

DELLE FORME DELLE MOLECOLE INTEGRANTI.

112. Fin qui abbiamo considerato il nocciolo soltanto, perchè questo effetto della division meccanica, essendo come una quantità costante relativamente a tutti i cristalli d' una stessa specie, diviene un dato comodo per la teoria, in cui, partendo da questa costante, non restano da determinarsi che le quantità variabili, cioè le diverse maniere con cui si ordinano le molecole situate nei punti che servono di inviluppo al nocciolo.

113. Ma prima di passare a considerar le leggi di questa collocazione, bisogna indicare cosa sono le molecole di cui parliamo, lo che

si conosce suddividendo il nocciolo parallelamente alle sue differenti facce, e talvolta ancora in qualche altra direzione.

Supponiamo primieramente che il nocciolo sia un parallelepipedo, il quale non abbia altre commessure naturali che quelle che son parallele alle sue facce, e scegliamo per esempio il romboide della calce carbonata. Dalla suddivisione di questo romboide eseguita con piani sempre più vicini fra loro, resulteranno altri romboidi simili a quello, e che anderanno gradatamente scemando di volume; e se col pensiero si prosegue questa divisione al di là del termine in cui questi piccoli solidi diverrebbero invisibili, si avranno romboidi così piccoli da non potersi più dividere senza analizzarli, cioè senza romper l'unione dei principii chimici che li compongono. Questi romboidi, che in certo modo sono il limite della division meccanica, son quelli che chiamiamo *molecole integranti* della calce carbonata, per distinguerli dalle molecole elementari della medesima sostanza, che da una parte son quelle della calce, e dall'altra quelle dell'acido carbonico.

114. Prendiamo per secondo esempio il dodecaedro a piani romboidali (*fig.* 9.), il quale non può essere suddiviso neppur esso che parallelamente alle sue facce. In questo caso diciamo che la molecola integrante sarà un tetraedro. Per provarlo osserveremo che un canto qualunque del dodecaedro è parallelo a due facce opposte di questo solido: così il canto *ol* è parallelo alle facce *rsyx*, *puzh*; il canto *pu* è parallelo alle facce *olrs*, *ahzq*, e così degli altri. Dall'altra parte una delle piccole diagonali di uno dei rombi è parimente parallela a due facce opposte; per esempio la piccola diagonale che passa per i punti *o*, *t*, è parallela alle facce *rsyx*, *puzh*; dunque se si suddivide il dodecaedro parallelamente alle sue facce, facendo passare, per maggior facilità, il piano secante per il centro, questi piani presi a tre a tre passeranno sempre per una piccola diagonale come *ot*, e per due canti contigui a questa diagonale, come *os*, *ts*, oppure *ou*, *tu*, cioè questi piani taglieranno due triangoli isosceli *ost*, *out* sulle superficie di ciascun rombo *ostu*; ma nel tempo medesimo essi passano per il centro, dunque staccheranno un numero di tetraedri doppio del numero delle facce, cioè 24. La *figura* 10 rappresenta separatamente il tetraedro che ha per faccia esteriore il triangolo *ost* della *fig.* 9., e si dimostra che le quattro facce di ciascun tetraedro sono triangoli isosceli eguali e simili; e questa è una conseguenza dell'eguaglianza e della similitudine che esiste fra i rombi della stessa forma primitiva.

115. Il prisma esaedro regolare che sceglieremo per terzo esempio, non ammette neppur esso alcuna suddivisione, se non in direzioni parallele alle sue facce; e sol che si osservi la *figura* 11, dove sull'esa-

gono regolare che rappresenta la base del prisma son segnate le linee indicanti le suddivisioni, si comprende che la forma della molecola in questo caso è un prisma triangolare equilatero.

116. Consideriamo finalmente una delle forme primitive, che può suddividersi ancora in qualche direzione non parallela alle facce. Tale è il prisma retto romboidale rappresentato dalla *figura* 12, che appartiene a una sostanza chiamata *staurotide* (*crocetta*), che si trova nel dipartimento di Finistere, nella quale i cristalli si incrociano comunemente a due a due. In questo prisma oltre le divisioni parallele ai lati M, M, e alla base P, possono farsene altre parallele a un piano che passerebbe per la piccola diagonale A A, e per quella della base opposta: dunque in questo caso ancora le molecole integranti son prismi triangolari, ma che hanno per basi triangoli isosceli.

Non parleremo della divisione dell'altre forme primitive, perchè a cagione dei limiti che ci siamo prefissi in quest'opera non possiamo entrare in quelle particolarità che sarebbero necessarie per togliere una difficoltà, cioè per spiegare come questa divisione sembra che tenda verso molecole di due forme diverse, e osserveremo soltanto che per mezzo d'un'ipotesi probabilissima, si può ridurre il resultamento a una sola forma di molecole, che è il tetraedro, e che dall'altra parte questa difficoltà, quando pur sussistesse interamente, non riguarda in sostanza la teoria.

117. Per far meglio rilevare ciò che ha di singolare la conseguenza che si deduce dalla suddivisione delle forme primitive, relativamente al numero e alle forme delle molecole integranti, supponiamo che si vogliano determinare in generale i tre solidi geometrici più semplici. Poichè per circoscrivere uno spazio son necessarii almeno quattro piani, è chiaro che i solidi richiesti saranno terminati successivamente da quattro, cinque e sei piani; e prendendo il più semplice in ciascuna specie di solidi, si avrà primieramente la piramide triangolare o il tetraedro, quindi il prisma triangolare, e finalmente il parallelepipedo. Son queste le tre figure elementari da cui nasce la gran diversità dei cristalli che osserviamo nella natura, la quale si mostra qui, direi quasi, con la sua familiare divisa, cioè *economia e semplicità nei mezzi*, *ricchezza e varietà immensa negli effetti*.

Queste tre forme variano nei diversi minerali in quanto alle misure degli angoli, e alle dimensioni particolari determinate dalla teoria; e su queste differenze appunto è fondata in gran parte la distiuzione delle specie minerali.

118. Dobbiamo però sempre osservare che in tutta la serie dei cristalli che la teoria riduce alla stessa forma primitiva, per mezzo delle

leggi di cui parleremo fra poco, la forma della molecola è invariabile relativamente alla misura dei suoi angoli e alle sue particolari dimensioni; e questa costanza che è dimostrata da certi fatti su cui basta gettare un'occhiata, e da calcoli strettamente connessi con questi fatti, sussiste in mezzo a tutte le diversità che modificano la composizione d'una sostanza. In una stessa serie di cristalli, uno sia limpido e senza colore, un altro contenga un principio colorante, un terzo analizzato dia una certa quantità o di ferro o di una materia qualunque che non si trova negli altri cristalli, o contenga ancora uno dei principii che son comuni a tutti gl'individui, e che esiste in eccesso in qualcuno, tutte queste variazioni, qualunque ne sia la causa, non altereranno nella più piccola parte la forma geometrica della molecola integrante; ed è questo come un punto fisso intorno a cui sembra oscillare tutto il resto. Se dunque v'è qui un problema da sciogliersi, non è già quello che consiste nello spiegare come la costanza delle molecole può accordarsi con le mutazioni che intervengono nella composizione, ma quello che avrebbe per fine il conciliare questi cambiamenti stessi con l'immutabilità che si deve necessariamente accordare alla forma delle molecole medesime.

119. Le divisioni che abbiamo considerate nel nocciolo si estendono egualmente a tutta la materia che lo circonda; quindi è che il cristallo intero non è altro che un aggregato di molecole integranti, simili a quelle di cui è formato il nocciolo stesso. Noi supponiamo che queste sieno le stesse molecole che eran sospese nel liquido in cui accadde la cristallizzazione, quantunque non ne siamo fisicamente certi, poichè queste son tanto piccole che appena l'occhio può scorgerle; ma nello studio della natura il partito più saggio è l'adottare quel principio, *che le cose son reputate tali in se stesse quali ce le presenta l'osservazione*. Se gli ultimi resultamenti della division meccanica dei minerali, non bastano a farci rilevare le figure delle vere molecole integranti dei cristalli, possiamo però riguardali come se realmente ce le rappresentassero; e ciò con tanto maggior vantaggio, quanto che considerando come date le figure delle molecole, arriviamo a rappresentare fedelmente i fatti della natura, e a stabilirne la connessione e la dipendenza scambievole.

La teoria che appartiene a questo soggetto consiste nel cercar le leggi con cui le molecole si dispongono in modo da produrre quelle specie di inviluppi regolari, che coprono la forma primitiva in tante diverse maniere.

Digitized by Google

120. Se si considerano attentamente le figure delle lastre che ricoprono successivamente il nocciolo d'un cristallo, chiamate *lastre di soprapposizione*, è facile accorgersi che da questo nocciolo fino alla superficie esse vanno scemando progressivamente, ora da tutte le parti insieme, ora in alcune parti soltanto; e se una lastra è alquanto meno estesa di quella che la precede, ciò non può derivare che dall'essere stata staccata da essa una certa quantità di molecole integranti che le mancano per esser a livello con l'altra; e poichè gli orli delle lastre decrescenti sono costantemente linee rette parallele le une alle altre sopra le differenti lastre, ne segue che le differenze di cui abbiamo parlato sono misurate dalla sottrazione di uno o più ordini di molecole integranti. Il problema dunque da sciogliersi è questo: dato un cristallo secondario, e data la figura del suo nocciolo e delle sue molecole integranti, supponendo inoltre che ciascuna delle lastre aggiunte al nocciolo sia in certi punti sorpassata dalla precedente di una quantità eguale a uno due, tre, ec. ordini di molecole, determinare fra queste diverse leggi di decrescimento quelle da cui resulta una forma simile alla proposta, per numero, figura e disposizione di facce, e per la misura dei suoi angoli o piani o solidi.

Queste specie di problemi non possono sciogliersi che col calcolo; ma per far comprendere l'andamento delle leggi delle quali per mezzo del calcolo stesso conosciamo gli effetti, cerchiamo di costruire col metodo sintetico alcune forme secondarie, rendendo per così dire palpabili la soprapposizione e le variazioni delle lastre decrescenti, soprapposte al nocciolo.

Decrescimento sugli orli.

121. Principiamo da un esempio elementarissimo preso dal dodecaedro a piani romboidali (*fig.* 13.), che abbiamo già visto nell'ordine delle forme primitive (§. 111), ma che in questo caso consideriamo come forma secondaria, il nocciolo del quale è un cubo. Per estrarre questo nocciolo, basta togliere successivamente i sei angoli solidi, come *s*, *r*, *t*, ec., composti ciascuno di quattro piani, e toglierli con sezioni fatte nella direzione delle piccole diagonali, e per mezzo di queste si verranno a scoprire sei quadrati AEOI, EOO'E', IOO'I', ec., che saranno le facce del cubo primitivo.

Questo cubo essendo una riunione di molecole integranti della

stessa forma, bisognerà che ciascuna delle piramidi che riposano su queste facce sia composta essa pure di cubi eguali fra loro, ed eguali a quelli che formano il nocciolo. Questa condizione sarà osservata, se la prima lastra situata sulla base di una delle sei piramidi, abbia verso ognuno dei suoi orli un ordine meno di cubi, che nel caso in cui essa coprisse interamente la faccia del nocciolo sulla quale riposa la piramide, e se ciascuna dell'altre lastre sia egualmente oltrepassata da ciascun orlo della precedente di una quantità eguale a un ordine di molecole, poichè è chiaro che in tal caso tutte le lastre saranno composte di cubi. Questo assortimento è rappresentato dalla *figura* 14, dove si vede che l'ultima lastra si riduce a un semplice cubo (*a*).

Questa figura è stata disegnata nell'ipotesi che il nocciolo avesse 17 molecole sopra ciascuno dei suoi orli; e poichè le lastre di soprapposizione scemano d'un ordine verso ciascuno degli orli loro opposti, ne segue che le lunghezze di questi orli sono successivamente come i numeri 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1, lo che indica otto lastre per ciascuna piramide. Le facce triangolari O*s*I, O*t*I ec. di queste piramidi sono prodotte dagli orli decrescenti delle lastre di soprapposizione che si trovano evidentemente sopra un medesimo piano, sicchè esse sono alternativamente rientranti e salienti.

Frattanto vi sono sei piramidi, e quindi 24 triangoli; ma poichè il decrescimento è uniforme in tutta l'estensione dei triangoli adiacenti alle piramidi vicine, come O*s*I, O*t*I, ne segue che i triangoli presi a due a due formano un rombo.

La superficie del solido sarà dunque composta di dodici rombi eguali e simili, cioè questo solido avrà la stessa forma di quello che è il soggetto del problema. L'angolo ottuso di ciascun rombo ha per misura 109° 28′ 16″ (*b*), e l'inclinazione scambievole di due rombi qualunque adiacenti fra loro è di 120°.

Che se a questa specie di fabbrica grossolana, ma però vantaggiosa perchè parla all'occhio, si sostituisca la delicatissima architettura della natura, bisognerà concepire il nocciolo come composto di un numero infinitamente maggiore di molecole piccolissime: allora il numero delle lastre di soprapposizione essendo esso pure notabilmente aumentato, mentre queste lastre saranno divenute di una grossezza impercettibile, le scanalature che formano queste lastre con i loro orli rientranti e

(*a*) Abbiamo poste qui tre sole piramidi soprapposte al nocciolo, ma è facile il concepir l'altre col pensiero.

(*b*) Questo deriva dal rapporto di $\sqrt{2} : 1$ che esiste fra la maggior e la minor diagonale del rombo.

salienti, saranno esse pure impercettibili ai nostri sensi; e ciò accade nei poliedri formati dalla cristallizzazione naturalmente e senza sforzo veruno.

Il resultamento che abbiamo descritto si enuncia dicendo, che il dodecaedro vien prodotto in virtù d'un decrescimento per un ordine solo, parallelamente a tutti gli orli del nocciolo cubico.

122. Se supponiamo che le lastre di sovrapposizione decrescano per due o tre ordini, o più ancora, e sempre parallelamente ai diversi orli del cubo primitivo, in tal caso essendo più abbassate le piramidi, le facce loro non potranno più trovarsi a due a due sul medesimo piano; sicchè la superficie del solido secondario sarà composta di 24 triangoli distinti.

123. Si chiamano *decrescimenti in larghezza* quelli in cui ciascuna lastra, non avendo che la grossezza di una molecola, come nel caso che abbiamo citato, è oltrepassata dalla precedente d'una quantità eguale a due o tre o più ordini. I *decrescimenti in altezza* son quelli che presentano l'effetto inverso, cioè ciascuna lastra non essendo sorpassata da quella che la precede se non di una quantità eguale a un ordine, può avere un'altezza doppia, tripla, quadrupla, ec. della grossezza di una molecola. Il limite di queste due specie di decrescimenti ha luogo quando la differenza in larghezza e la dimensione in altezza sono tanto l'una che l'altra eguali all'unità, come nel dodecaedro a piani romboidali, da cui deriva il cubo (§. 121.).

124. Il dodecaedro del ferro solforato (*pirite ferruginea*) la superficie del quale è composta di 12 pentagoni eguali e simili, come si osserva nella *fig.* 15, ci offre una combinazione delle due specie di decrescimenti di cui abbiamo parlato. Ciascun pentagono come $tOsO'n$, ha quattro costole eguali, cioè Ot, Os, $O's$, $O'n$; la quinta tn, che riguardiamo come la base del pentagono, è più lunga dell'altra. Questo dodecaedro ha esso pure per nocciolo un cubo, che si potrebbe estrarre facendo passare alcuni piani secanti per le diagonali OI, OE, AE, AI, ec. (*fig.* 16) che tagliano gli angoli opposti alle basi; dal che si vede che le porzioni aggiunte al nocciolo, in vece d'esser piramidi, come nel dodecaedro a piani romboidali, sono come coni che per facce esteriori hanno due trapezii come $OIqp$, $AEpq$, e due triangoli isosceli EpO, AqI.

Ciascuna di queste parti addizionali, come quella che abbiamo indicata, resulta da due decrescimenti, uno per due ordini in larghezza parallelamente a due orli opposti OI, AE della faccia corrispondente AEOI del nocciolo, l'altro per due ordini in altezza, parallelamente ai due altri orli EO, AI della stessa faccia: di più, ciascun decresci-

mento opera sulle differenti facce del cubo in tre direzioni perpendicolari fra loro. Così il decrescimento per due ordini in larghezza, accadendo sulla faccia A E O I, parallelamente a O I e A E, come abbiamo detto, opera sulla faccia O H' O', parallelamente a OO e I I', e sulla faccia E O O' E' parallelamente a E O e O' E', e nella direzione medesima sulle facce opposte. Da ciò che abbiamo detto si rileva naturalmente l'ordine del decrescimento in altezza, in direzioni che si incrociano esse pure ad angolo retto.

Considerando attentamente la *fig.* 7, dove è resa sensibile all'occhio la distinzione delle lastre di sovrapposizione e delle molecole che le compongono, si vede che il progresso del decrescimento in larghezza, che contribuisce, per esempio, alla formazione della parte addizionale E O I *q p*, e che ha luogo parallelamente al canto O I e al suo opposto, essendo più rapido del decrescimento in altezza che accade parallelamente al canto E O e al suo opposto, le due facce che nascono dal primo devono essere più inclinate di quelle prodotte dal secondo; sicchè ciascun ammasso di lastre decrescenti non termina più in punta, ma in canto *p q*: inoltre ciascun trapezio come O *p q* I (*fig.* 16 e 17) che resulta dal decrescimento in larghezza essendo sul medesimo piano del triangolo O *t* I, poichè il decrescimento in altezza che produce questo non è che la repetizione in modo contrario del decrescimento in larghezza, la riunione delle due figure forma un pentagono *p* O *t* I *q*; quindi è che il solido secondario è terminato da dodici pentagoni eguali e simili, per cagione della figura regolare del nocciolo, e della simmetria dei decrescimenti.

Se supponiamo che i decrescimenti operino secondo due altre leggi, delle quali una sia sempre l'inversa di quella che si combina con essa, sicchè vi sieno tre o quattro ordini, ec. sottratti in larghezza e altrettanti in altezza, ne resulterà parimente un dodecaedro a dodici pentagoni eguali e simili; ed è chiaro che tutti questi dodecaedri saranno diversi tanto fra loro quanto dai precedenti relativamente alla misura dei proprii angoli. Perchè resti dimostrata l'esistenza della legge dalla quale abbiamo fatto dipender questa, bisogna che l'inclinazione (*a*) di ciascun pentagono, come *t* O *s* O' *n* sul pentagono *t* I *s'* I *n*, che ha la stessa base *t n*, misurata sul dodecaedro naturale, sia eguale a quella determinata dal calcolo, prendendo per dato quella stessa legge, e che è di 126° 52' 12'' (*b*): ma il gonometro dà sensibilmente 127°; dunque si deve con-

(*a*) Si intende facilmente che questa inclinazione che noi preferiamo, determina ogni altro angolo.

(*b*) Per trovare questa inclinazione, basta risolvere un triangolo *a b c* (*fig.* 18.) in cui il lato *a b* stia al lato *b c*, come la distanza fra l'orlo d'una lastra e quello

cludere che la prima misura è il limite a cui si estenderebbero le indicazioni dello strumento, se non vi si opponessero certe piccole imperfezioni per cui dallo strumento stesso non possono resultare che approssimazioni. Ciò che diciamo di questo caso è vero egualmente per tutte l'altre applicazioni della teoria; la quale in virtù di qualche legge di decrescimento porta sempre a un resultamento che è moltissimo concorde con quello dell'osservazione.

125. Il solido di cui abbiamo spiegata la struttura è stato qui considerato come un dodecaedro regolare simile a quello della Geometria, perchè abbiamo dovuto supporre nei cristalli le forme che sembrano più semplici e più regolari, non considerando nel poliedro se non il suo aspetto, e come l'immagine di un corpo fisico; ma la teoria dimostra che l'esistenza del dodecaedro regolare non è possibile per qualunque legge di decrescimento; poichè il rapporto della quantità di cui ciascuna lastra è sorpassata dalla susseguente nella direzione della lunghezza con la grossezza della medesima lastra, deve sempre essere rappresentato con numeri razionali, lo che si osserva di fatto nel dodecaedro di ferro solforato, in cui questo rapporto è di 2 : 1 : al contrario il rapporto fra le due dimensioni corrispondenti del dodecaedro regolare, è espresso in numeri irrazionali, cioè rappresenta una cosa impossibile (*a*). Ma il difetto di simmetria che esiste all'esterno nel dodecaedro di ferro solforato, ha in se un carattere di semplicità, perchè la molecola essendo il cubo, figura perfettissima, la legge del decrescimento è nel tempo stesso quella che forma il dodecaedro col minor numero possibile di ordini sottratti; quindi è che può dirsi esser questo il dodecaedro regolare della Mineralogia.

126. Termineremo ciò che appartiene al decrescimento dei lati con un esempio preso dal dodecaedro a facce triangolari scalene (*fig.* 6.), il quale come abbiam veduto (§. 108), è una delle varietà della calce carbonata. Il nocciolo è in questo un romboide, l'asse del quale, cioè la linea che passa per i due angoli solidi A, A (*fig* 7), ciascuno dei quali è composto di tre angoli ottusi eguali, deve esser situato verticalmente, perchè questo romboide apparisca nel suo vero aspetto; quindi non è più necessario, come nel cubo, che i decrescimenti sopra un orlo qualunque EO di una delle facce AEOI, si ripetano con simmetria

della susseguente, data dal decrescimento in larghezza, sta alla grossezza di ciascuna lastra, cioè : : 2 : 1. L'angolo *a c b* sarà la metà dell'inclinazione cercata.

(*a*) Questo rapporto, quale resulta dalle formule trigonometriche, è di $\sqrt{5}$ 1 a 2, eguale al rapporto di $\sqrt{3+\sqrt{5}}$ a $\sqrt{2}$ che si trova con le formule relative alla teoria della struttura dei cristalli; e la misura dell'angolo formato da due facce adiacenti è di 116° 33′ 54″, in vece di 126° 52′ 12″.

sull' orlo opposto A I, perchè questo, che è contiguo a uno dei vertici, ha in certo modo una maniera di essere diversa dall' altro; ma basta soltanto che ciò che accade relativamente all' orlo E O, accada egualmente per gli altri cinque OI, IK, KG, GH, HE, similmente disposti. Sol che si osservi la figura, si vede subito che questi sei orli, i quali son comuni al nocciolo e al cristallo secondario, servono come di principio ad altrettanti decrescimenti, che producono dai due lati del medesimo orlo, come E O, due triangoli E *s* O, E *s'* O, e in tutto dodici triangoli, cioè sei per ogni vertice.

Il calcolo dimostra che in questo caso i decrescimenti si eseguiscono per due file in larghezza come si vede nella *fig.* 19, in cui ci siamo limitati a disegnare la specie di piramide superiore aggiunta al nocciolo. Poichè nel cristallo prodotto dalla natura non son visibili gli angoli salienti e rientranti, formati alternativamente dalle lastre di sovrapposizione verso gli orli loro decrescenti, la linea E *s* rappresenta uno dei canti contigui al vertice, come si vede sullo stesso cristallo; sicchè la differenza fra il vertice geometrico *s* e il vertice fisico *s'*, sparisce essa pure per la sua estrema piccolezza.

127. Mentre le lastre di sovrapposizione decrescono verso gli orli inferiori, crescono al contrario verso gli orli superiori, sopravanzandosi scambievolmente da questa medesima parte; ed è un principio generale, che le porzioni delle lastre, le quali non possono decrescere, si estendono come se il nocciolo, conservando la sua forma, crescesse solamente di volume. Ma in teoria si suole astrarre da queste specie di variazioni per considerare soltanto l'effetto immediato del decrescimento, che solo determina tutto il resto.

128. In tutti i dodecaedri prodotti in forza della medesima legge, qualunque sieno gli angoli primitivi, l'asse loro è triplo dell' asse del nocciolo, e il rapporto delle solidità è eguale a quello degli assi: si trova inoltre per mezzo del calcolo che nel dodecaedro particolare di cui parliamo, il grand'angolo O E *s* (*fig.* 7.) di ciascuna faccia è rigorosamente eguale all'angolo ottuso E A I del nocciolo, cioè è di 101° 32′ 13″, e che l' incidenza scambievole delle due facce vicine O I *s*, K I *s* sul dodecaedro, nel punto d' uno dei due canti più salienti I *s*, è eguale a quella delle due facce parallelamente adiacenti E A I O, G A I K, verso un medesimo vertice del nocciolo, cioè di 104° 28′ 40″. Questo è quello che ha suggerito il nome di *metastatica* con cui abbiamo chiamata questa varietà, e che indica come il trasporto o la *metastasi* degli angoli del nocciolo sul cristallo secondario. La soluzione dei problemi relativi alla struttura dei cristalli, hanno scoperto una moltitudine di simili proprietà, e di resultamenti di una geometria che meriterebbe d' essere

studiata, quando pur non conducesse che a semplici speculazioni. Ma questo studio è doppiamente importante, dacchè queste proprietà che esso fa rilevare hanno un fondamento reale nella geometria della natura.

Decrescimento sugli angoli.

129. Oltre i decrescimenti che accadono parallelamente agli orli delle facce del nocciolo, altri ne accadono paralleli alle diagonali, i quali perchè partono appunto da angoli possono chiamarsi *decrescimenti sugli angoli*.

Sia OIl'O (*fig.* 20) una faccia del nocciolo cubico, suddivisa in una moltitudine di piccoli quadrati che saranno le basi di altrettante molecole. Possiamo considerare tanti ordini o tante file di molecole non solo nella direzione dei canti come la fila diretta per *aa'*, ma ancora nella direzione delle diagonali, come le file, delle quali una è indicata da *a, b, c, d, e, f*, ec. l'altra da *n, t, l, m, p, o, r, s*, un'altra da *q, v, k, u, x, y, z*; e non v'è altra differenza se non che, in queste, le molecole della stessa fila non si toccano che con un canto, mentre quelle che compongono le file parallele agli orli, si toccano con una delle loro facce. Basterà un solo esempio di decrescimento sugli angoli.

130. La *fig.* 21 rappresenta un ottaedro regolare che ha per nocciolo un cubo, gli angoli solidi del quale, come si vede, corrispondono ai centri delle facce dell'ottaedro: in tal caso le lastre di sovrapposizione decrescono per una fila su tutti gli angoli delle facce del nocciolo cubico; quindi è che, relativamente all'angolo I'(*fig.* 20) che scegliamo per esempio, il cubo che corrisponde a *i* è sottratto sulla prima lastra; che sulla seconda v'è una sottrazione di due cubi corrispondenti a *s, s'*; sulla terza, di quelli che corrispondono a *z, h, z'*, e così di seguito; sicchè gli orli situati da questa medesima parte sulle diverse lastre, sono posti sulla medesima linea successivamente come BB', DD, GG', ec.

Ma in conseguenza del principio fissato (§. 127), che dovunque non sia decrescimento il cristallo all'opposto cresce, come se il nocciolo stesso crescesse di volume, le lastre di sovrapposizione si estendono verso le parti situate fra i loro orli decrescenti, in modo da invilupparsi scambievolmente, finchè gli orli decrescenti sopra una medesima lastra venendo a toccarsi, non resti più se non l'effetto dei decrescimenti, i quali proseguono il loro corso finchè sieno giunti al proprio termine.

Ciascuno degli otto angoli solidi del cubo diverrà dunque il punto da cui principieranno i tre decrescimenti su i tre piani che concorrono

alla formazione di questo angolo, e però vi saranno 24 facce prodotte dal decrescimento. Ma perchè i decrescimenti hanno luogo per una sola fila, in questo caso ancora le tre facce che nascono intorno ad un medesimo angolo solido sono a livello, e così le 24 facce si riducono a 8; e in conseguenza della forma regolare del nocciolo, l'ottaedro secondario è esso pure regolare. Questa struttura è quella d'una varietà del piombo solforato, conosciuta volgarmente sotto il nome di *galena*.

Nello stesso caso, e in generale in tutti i casi che si riferiscono ai decrescimenti sugli angoli, le facce del solido secondario non sono più semplicemente solcate da strie, come nel caso dei decrescimenti sugli orli, ma sono arricciate da una moltitudine di prominenze formate dagli angoli solidi esterni delle molecole; per altro poichè tutti questi angoli sono a livello, e dall'altra parte le molecole sono impercettibili, le facce del cristallo sembrano formare piani lisci e continui.

La *fig.* 22. rappresenta l'assortimento dei piccoli cubi che concorrono a formare una delle facce *s m n* (*fig.* 21.) dell'ottaedro di cui abbiamo parlato. Il cubo *o* (*fig.* 22.) è situato sull'angolo solido del nocciolo segnato con la stessa lettera (*fig.* 21.): i cubi per le facce dei quali passano diagonalmente le linee *b c*, *c r*, *r b* (*fig.* 22.), appartengono alle tre prime lastre di sovrapposizione che son posate sulle tre facce dei cubi adiacenti all'angolo o; quelle a traverso delle quali passano diagonalmente le linee *l d*, *d g*, *g l*, appartengono alle tre lastre susseguenti. Al di là di questo termine gli orli decrescenti si toccano, di maniera che ciascuna lastra prende la figura di un quadrato, del quale il lato contiguo alla faccia *s m n* è *k u*, *x y*, o *h z*; e quindi tutto si forma a lastre di questa medesima figura, che vanno decrescendo da tutti i lati contemporaneamente fino ai vertici *s*, *m*, *n* dell'ottaedro, in cui queste lastre si riducono a un semplice cubo.

131. Le leggi di decrescimento son sottoposte a certe modificazioni che presentano varii termini medii fra quelle di cui abbiamo parlato; ma non è questo il luogo da dimostrarle, perchè non abbiamo avuto in mira se non che di esporre i principii generali della teoria, e dare un'idea dei più ordinarii resultamenti a cui si estendono le applicazioni dei suoi metodi.

Fecondità delle leggi di decrescimento.

132. Abbiamo considerate soltanto le forme dipendenti da una sola legge di decrescimento, chiamate da noi *forme secondarie semplici*; ma la cristallizzazione ci presenta spessissimo certe forme che chiamiamo *com-*

poste, e le facce delle quali son prodotte dal concorso di varie leggi di decrescimento; e quando qualcuna di queste leggi non giunge al suo fine, restando come interrotto il suo effetto, il cristallo secondario presenta facce parallele a quelle del nocciolo, interposte fra le faccette derivate dai decrescimenti.

Quante combinazioni son comprese nelle numerose modificazioni di queste leggi, le quali separate sopra diversi corpi, e presentando nel medesimo corpo la riunione di più forme, operano alternativamente a preferenza ora su certi orli, ora su certi angoli, ora su gli uni e su gli altri nel tempo stesso, si moltiplicano egualmente con la diversità delle loro misure e con quella dei punti da cui partono; ora finalmente coprono interamente il nocciolo, e ora lasciano sussistere l'effigie di esso, e fanno servire le situazioni costanti delle sue facce a nuove variazioni! E se si supponga che sia pur variabile il numero delle file sottratte, e che possano aver luogo decrescimenti per venti, trenta, quaranta e più file, l'immaginazione si troverà confusa fra l'immensa quantità di corpi regolari, una sola sostanza dei quali basterebbe a popolare tutto il mondo sotterraneo: ma sembra che la forza la quale produce le sottrazioni abbia un'azione limitatissima, e fin ora non abbiamo trovato alcuna legge con cui poter misurare più di sei file.

Tale è pertanto la fecondità che è unita a questa semplicità, che limitandosi ai decrescimenti ordinarii per una, due, tre e quattro file sugli orli e sugli angoli d'un romboide, si dimostra che questa specie di nocciolo è capace di produrre otto milioni trecento ottantotto mila seicento quattro varietà di forme diverse, mentre il numero di quelle che sono state osservate fino al presente si estende a poco più di cento sessanta, relativamente alla calce carbonata, che è come il Proteo dei minerali.

Generalità della teoria.

133. Non entreremo a particolarizzare la struttura delle forme secondarie, la molecola delle quali è un tetraedro o un prisma triangolare; ma non crediamo di poter meglio terminare questo articolo, che con l'esporre un resultamento il quale serve a collegare questa struttura con quella delle forme originali del parallelepipedo. In fatti le molecole tetraedre o prismatiche tringolari son sempre talmente disposte nell'interno della forma primitiva e dei cristalli secondarii, che prese a piccoli gruppi di due, di quattro o di sei, possono comporre altrettanti parallelepipedi; sicchè le file sottratte per effetto dei decrescimenti, non son altro che somme di questi parallelepipedi medesimi.

134. Così nel prisma esaedro regolare, del quale l'esagono ABCDFG (*fig.* 11.) rappresenta la base suddivisa in triangoli, che son le basi di altrettante molecole, è chiaro che due triangoli qualunque, vicini fra loro, come A *pi*, A O *i*, compongono un rombo, e che in conseguenza i due prismi a cui essi appartengono, formano nel riunirsi un prisma retto a basi romboidali, che è una delle specie di parallelepipedi.

Supponiamo una serie di lastre stivate sull'esagono ABCDFG, e che, per esempio, sugli orli soffrano alcune sottrazioni tali, che questi medesimi orli sieno disposti successivamente come i lati degli esagoni *ilmnrh*, *kuxyge*, ec: da ciò resulterà un effetto eguale a quello d'un decrescimento per una fila di piccoli parallelepipedi, composti ciascuno di due molecole. È chiaro che nel medesimo caso da questo decrescimento resulta una piramide retta esaedra, che con la sua base è appoggiata sopra l'esagono ABCDFG.

135. Prendiamo nuovamente il dodecaedro a piani rombi (*fig.* 9.), che abbiam veduto (§. 114.) essere una riunione di tetraedri, le facce dei quali son triangoli isosceli eguali e simili. Se dividiamo i dodici rombi in quattro assortimenti composti ciascuno di tre piani, come quelli che si uniscono per formare uno, qualunque sia, dei quattro angoli solidi *o*, *y*, *z*, *g*, potremo riguardare ciascun assortimento, per esempio quello che contiene i tre piani *olrs*, *outs*, *olpu*, come appartenente a un romboide che avesse uno dei suoi vertici situato esteriormente in *o*, e l'altro vertice nell'interno del dodecaedro si confondesse col suo centro. È dunque evidente che in questa supposizione i ventiquattro tetraedri di cui è formato il dodecaedro, si riuniscono a sei a sei per formare i quattro romboidi che hanno i proprii vertici esterni nei punti *o*, *y*, *z*, *g*. Dunque supponendo portata fino al suo limite la division meccanica, tutte le molecole tetraedre che corrispondono a questo limite, aggruppate egualmente a sei a sei, daranno altrettanti romboidi. Col far decrescere le lastre di sovrapposizione per una o più file di questi romboidi, la teoria giunge a determinare le forme secondarie di quelle sostanze che, come il granato, hanno il dodecaedro a piani rombi per forma primitiva.

136. Abbiamo chiamate *molecole sottrattive* quei parallelepipedi composti di tetraedri o di prismi triangolari, e le file dei quali misurano la quantità di cui decrescono le lastre di sovrapposizione Il calcolo non ha bisogno che di questi parallelepipedi per giungere al suo fine; e la specie di anatomia che facciamo in seguito di questi piccoli solidi, quando vogliamo risalire fino alla vera forma della molecola integrante, è un'occupazione di pura osservazione, estranea affatto alla teoria. Il parallelepipedo rappresenta qui l'unità; e poco importa che oltre questa

unità vi sieno frazioni formate dalle sue suddivisioni Per mezzo di tale uniformità fra i resultamenti delle diverse forme delle molecole integranti, la teoria ha il vantaggio di poter generalizzare il suo soggetto, riducendo a uno stesso elemento questa moltitudine di forme, le quali perchè appunto sono tanto diverse sembrano poco capaci di concorrere in un punto comune.

III. DEL CALORICO.

137. Parlando dei corpi solidi, abbiam considerate le molecole di cui son composti, come unite insieme dalla forza di affinità in un modo invariabile, senza riflettere alle varie modificazioni di figura che resultavano dalla loro disposizione; ma l'affinità stessa, ossia l'adesione che essa produce fra le molecole, è soggetta a infinite variazioni, dipendenti da una causa che ne equilibra più o meno l'effetto, e qualche volta lo distrugge interamente.

Questa causa che esiste in tutti i corpi tende costantemente ad allontanarne le molecole; e quindi un corpo o si dilata o conserva il suo volume, o si ristringe in un minore spazio secondo che l'azione di questa causa è maggiore o eguale o minore di quella dell'affinità. E tali cambiamenti nelle dimensioni dei corpi, che ordinariamente sono poco sensibili all'occhio, sono poi notabilissimi in certe circostanze di cui citeremo alcuni esempii: ma frattanto quest'azione ci vien manifestata da un effetto d'un altro genere che ha un'intima relazione con la nostra organizzazione. Quando questa causa opera sui corpi che ci circondano con maggiore energia che sul nostro, ne nasce una rottura d'equilibrio che produce in noi una sensazione conosciuta sotto il nome di *calore*, sensazione che diventa tanto più viva e perfin dolorosa, a misura che ci accostiamo ai corpi in combustione, nei quali questa causa si manifesta con la distruzione dei corpi stessi; e questa causa è stata chiamata dai Fisici *fuoco* o *materia del calore*, o soltanto *calore*; ma i chimici moderni l'hanno chiamata col nome di *calorico*, che noi pure adotteremo (12).

138. Ma cosa è il calorico? Alcuni l'hanno creduto l'effetto di un moto intestino, che secondo le circostanze fa avvicinare o allontanare fra loro le molecole dei corpi: altri l'hanno riguardato come una materia realmente esistente, la quale crescendo o scemando in qualunque modo nei corpi, lascia allontanarne o ravvicinarne le molecole Noi adotteremo un linguaggio conforme a questa seconda opinione, senza nulla deci-

(12) Dunque a tutto rigore il *calorico* è la causa, e il *calore* è l'effetto.

dere, riguardandola però come una semplice ipotesi adattata a concepir meglio i fenomeni di questo genere, e comoda per esprimerli.

Terremo lo stesso metodo in qualunque altra simile occasione, e particolarmente quando tratteremo dell'elettricismo e del magnetismo, indicando col termine di *fluido* il principio sì dell'uno che dell'altro; e ciò non per esprimere esseri di cui non è stata abbastanza provata l'esistenza, ma per dare col pensiero un soggetto all'azione delle forze conosciute, che concorrono alla produzione dei fenomeni. In qualunque caso però osserveremo sempre che devon distinguersi i veri fluidi palpabili e che posson esser trattenuti in vasi, da quegli agenti sull'esistenza dei quali l'osservazione ha taciuto fin ora, e collocheremo questi non nella natura ma solamente nella teoria, perchè, quando sieno opportunamente scelti, rappresentano con fedeltà i resultamenti, ne preparano una spiegazione soddisfacente, e possono perfino esser previsti; sicchè se essi non sono i veri agenti di cui la natura si serve per produrre i fenomeni, possiamo però riguardarli come equivalenti, e come quelli che fanno le veci di agenti.

Noi insistiamo su questa osservazione, perchè ci sembra essenziale al progresso delle scienze il portar sempre nello studio di esse quella giustezza e precisione d'idee, quel metodo corretto e severo che colloca ciascuna cosa al suo vero posto, che si guarda dal far dire alla natura più di quello che dice realmente, e dal confondere un'ipotesi, che serve solo a dare una spiegazione, con una chiara cognizione degli oggetti che hanno un fondamento reale. La fisica può paragonarsi a un quadro, nel quale, perchè esso possa dirsi ben eseguito, deve rilevarsi quella gradazione espressiva che distingue la certezza dalla semplice verisimiglianza, e in cui l'osservatore deve conoscere una mano ferma e ardita nei tratti forti e decisi, ma nel tempo stesso una mano saggia e misurata in quelli che devono apparire più dolci.

Ma, per tornare al soggetto di cui dobbiamo trattare, diciamo che appartiene alla chimica lo sviluppare gli effetti che dipendono dal modo di operare del calorico nella composizione e scomposizione dei corpi; e in quanto a noi, lo considereremo principalmente nel suo stato ordinario, e sotto l'aspetto fisico.

1. DEI PRINCIPII SUI QUALI È FONDATA LA TEORIA DEL CALORICO.

139. Secondo l'ipotesi che abbiamo ammessa, il calorico deve considerarsi come un fluido sottilissimo ed elasticissimo che penetra in tutti i corpi, nei quali è sparso in quantità più o meno abbondante. Tal quantità di fluido però contenuta in un corpo, non opera con tutta la

sua natural forza espansiva, come vedremo in seguito, ma ne conserva una certa porzione, in virtù della quale il calorico tende ad escire dal corpo stesso. di maniera che non può esservi trattenuto se non dalla resistenza del calorico dei corpi circonvicini, il quale tende egualmente a sprigionarsi. Se cessa questa eguaglianza per un aumento di calorico in qualcuno dei corpi, questo cede agli altri una porzione del suo fluido, finchè venga nuovamente a stabilirsi l'equilibrio. La tendenza del calorico a sprigionarsi in tal modo da un corpo, è stata chiamata *tensione*, che rende simile lo stato del calorico allo stato d'una molla tesa; e nella quantità di questa tensione consiste appunto ciò che si chiama *temperatura* d'un corpo, la quale si dice elevarsi o abbassarsi, e più familiarmente si dice che un corpo si riscalda o si raffredda, a misura che la quantità di tensione cresce o scema.

140. Per facilitare l'intelligenza di tutte le particolarità che si riferiscono a questo argomento, non sarà inutile il dar quì, quasi anticipatamente un'idea del termometro. Questo strumento è composto di un tubo terminato in forma di palla, e pieno di un liquido, il quale col dilatarsi e col ristringersi, indica le variazioni a cui è soggetta la temperatura dei corpi che sono in contatto col termometro; e quindi la colonna del liquido che occupa il tubo diviene più lunga o più corta, secondo che la temperatura si alza o si abbassa I moti della colonna si misurano per mezzo di una graduazione nella quale si distingono due limiti, uno dei quali corrisponde al punto di abbassamento di questa colonna, allorchè la temperatura è quella del ghiaccio quando si fonde, l'altro corrisponde al punto di elevazione della colonna stessa, quando la temperatura è quella dell'acqua bollente. Nel termometro detto di *Rèaumur*, e in quello che si chiama *centigrado*, lo zero della scala indica il termine del ghiaccio che si fonde, se non che nel primo, l'intervallo compreso fra questo termine e quello dell'acqua bollente è diviso in 80 parti, e nel secondo in 100, e tanto nell'uno che nell'altro la suddivisione è continuata al di sotto dello zero in parti eguali a quelle che suddividono l'intervallo fra i due limiti.

141. Abbiam detto che le dilatazioni della colonna del liquido contenuto nel tubo del termometro indicano le elevazioni della temperatura, quantunque sieno questi due effetti distinti e prodotti da due azioni differenti del calorico, come dimostreremo; e lo stesso si dica delle contrazioni della colonna stessa in forza degli abbassamenti di temperatura: ma questi effetti essendo proporzionali fra loro, le dilatazioni, in un termometro costruito con la maggior perfezione possibile, divengono un termine di comparazione, che ci serve a misurare in certo modo con l'occhio la temperatura.

142. Si osservi però che nel servirci del termometro come indicatore della temperatura dell'aria o di altri corpi, supponiamo tanto piccola la massa dello strumento, da potersi trascurare senza errore sensibile la quantità di calorico che esso cede o toglie alle sostanze vicine. In seguito daremo una descrizione esatta del termometro unita alla teoria della sua costruzione.

143. Nel dare queste cognizioni preliminari relative alla teoria del calorico, siamo partiti dai due più notabili effetti di questo fluido, cioè la dilatazione e l'elevazione di temperatura prodotte da esso nei corpi nei quali si interpone: ma la spiegazione dei fenomeni richiede che prima di tutto consideriamo il calorico quale è in se stesso, quando non obbedisce che alle sue forze naturali, libero da ogni ostacolo per parte delle molecole dei corpi. Nessuno a nostro giudizio ha trattato questo argomento meglio di Prevost, e nessuno meglio di lui ha ravvisato le proprietà che dovevano attribuirsi al calorico, onde la teoria che ne resulterebbe fosse d'accordo con l'osservazione (*a*): quindi noi tratteremo questo argomento secondo i principii di quel celebre Fisico, modificandoli soltanto talora in qualche parte col fine di renderne più semplici le applicazioni.

Calorico radiante.

144. Tale è dunque la maniera con cui il calorico nel suo stato di libertà esercita la sua forza espansiva, che le sue particelle hanno un moto rapido in linea retta, finchè non vi si oppone verun ostacolo. Queste particelle escendo fuori come in file, lasciano fra loro alcuni intervalli incomparabilmente maggiori del loro diametro; quindi è che alcune di queste file incrociandosi, le molecole di ciascuna trovano sempre un libero adito per passare a traverso delle strade seguite dall'altre, talmente che il moto generale non disturba in veruna maniera i moti particolari. Vedremo in seguito che queste proprietà che ha il calorico, le ha comuni con la luce, almeno secondo l'opinione di Newton da noi adottata.

Con queste prime nozioni si concepisce che in uno spazio qualunque ove il calorico si propaga liberamente, esiste a qualunque temperatura una moltitudine innumerabile di raggi dello stesso fluido, che si muovono in qualunque direzione immaginabile; quindi è che qualunque punto di questo spazio è come un doppio centro da cui

(*a*) *Recherches physico-mécaniques sur la chaleur. Paris*, 1792. *Mémoire sur l'equilibre du feu*, *Journ. de Phys.*, 1792, p. 134. e seg.

partono, e verso di cui tendono da ogni parte varie serie non interrotte di questi medesimi raggi

145. In questo stato in cui il calorico lasciato a se stesso emerge dai corpi come la luce, prende il nome di *calorico radiante*, e in questa forma, che potrebbe dirsi sua forma naturale, passa continuamente a traverso dell'aria, e conserva questa forma, con certe condizioni, nell'incontrare i corpi solidi. Se la superficie che lo riceve è liscia e pulita, e principalmente se è uno specchio metallico, i raggi che arrivano ad esso obliquamente tornano indietro, facendo con esso un angolo eguale a quello della loro incidenza Questa specie di deviazione, che è stata chiamata *reflessione*, si osserva egualmente e con le stesse leggi relativamente alla luce, come vedremo parlando di questo fluido.

Le proprietà del calorico radiante sono state in parte provate da gran tempo da Schéele per mezzo dell'esperienza, e fa maraviglia il vedere con qual sagacità egli le ha rilevate, in un'epoca in cui questo soggetto era quasi affatto nuovo (*a*). Per studiar meglio i caratteri di questo fluido, libero da ogni ostacolo, aveva scelta una delle circostanze in cui i fenomeni da esso prodotti appariscono in una maniera sensibile, cioè quando esce da un fornello in cui brucia il legno, e del quale sia aperta la porticina. Il calorico in questo stato, come osserva Schéele, vien fuori come un torrente a traverso dell'aria circostante, e tende così potentemente a proseguire il suo corso in linea retta, che la sua direzione non è punto cambiata da una corrente d'aria che venga mossa costantemente verso la bocca del fornello, per prendere il posto di quella allontanata in forza della dilatazione prodotta dal calorico interno; ed è egualmente inutile agitar l'aria alla porticina del fornello, poichè il corso dei raggi del calorico non è disturbato più di quello dei raggi solari.

146. A questa prima osservazione di Schéele succede quella della reflessione del calorico radiante sulla superficie degli specchi metallici, secondo le stesse leggi della luce; e se lo specchio è concavo, l'azione del calorico si concentra nel suo fuoco, talmentechè un pezzo di solfo posto in questo fuoco si accende nel momento.

147. Finchè il calorico conserva la sua forma radiante, o refletta sulla superficie di un corpo, o passi liberamente a traverso della massa di esso, non ne altera in verun modo la temperatura nè le dimensioni. Schéele inoltre osservò che la temperatura restava costante nel caso

(*a*) *Traitè chimique de l'air et du feu*, *traduit par Dietrich*, 1781, p. 118. e seg.

ancora della reflessione. poichè il suo specchio concavo di metallo non fu in veruna maniera riscaldato, quantunque fosse esposto all'effluvio abbondante del calorico, che colpiva con tanta energia un corpo posto nel fuoco dello specchio: ma ricoprendo con un poco di sego la superficie dello specchio, passando questo sopra una candela accesa, il calorico che colpiva questo specchio perdeva la sua forma radiante, e si univa al metallo, il quale ben presto si riscaldava a segno da non potersi maneggiare senza dolore.

Calorico sensibile e calorico latente.

148. Quest' ultima osservazione ci fa vedere il calorico in un nuovo stato, al quale passa ogni volta che si imprigiona nell'interno dei corpi. In tal caso esso esercita la sua forza ordinariamente in due maniere, come già indicammo (§. 137.), cioè riscalda i corpi elevandone la temperatura, e aumenta il loro volume slontanandone le molecole con la sua forza di elasticità.

149. La distinzione fra questi due effetti ci conduce ad ammettere egualmente una distinzione nella maniera di concepir la causa che li produce, e rileviamo quindi che una porzione dell'azion del calorico serve unicamente a elevare la temperatura dei corpi, e un'altra porzione, che non è indicata dal termometro serve a dilatarne il volume (*a*).

Dunque per maggior semplicità possiamo considerare il calorico che si introduce in un corpo, come composto di due porzioni destinate a produrre le due azioni di cui abbiamo parlato; e chiameremo *calorico sensibile* quella porzione che riscalda i corpi, e *calorico latente* quella che li dilata.

150. Per far meglio rilevare una tal distinzione prendendo l'aria per esempio, citeremo qui alcune esperienze, che esamineremo poi più particolarmente nel decorso di quest'opera.

Figuriamoci che una massa d'aria sia chiusa da ogni parte in un determinato spazio, e che quindi questo spazio venga accresciuto, in un modo qualunque, di una quantità nota, per esempio di un decimo: questa massa d'aria si dilaterà per empire il voto, e frattanto la sua temperatura non sarà alterata. Ma essa non poteva dilatarsi conservando la sua temperatura, senza togliere una porzion di calorico ai corpi cir-

(*a*) Il fondamento di questa distinzione, che è del celebre Laplace, si trova in una bellissima memoria pubblicata da lui stesso insieme con Lavoisier. *Mem. de l'Acad. des Scienc.*, 1780, p. 386.

convicini, come vedremo in altro luogo: dunque questo calorico avrà preso interamente la forma di calorico latente per eseguire la dilatazione.

Possiamo egualmente supporre che l'aria, senza venir sottoposta all'azione dei corpi circostanti, riceva fin dal primo momento una quantità di calorico eguale a quella che avrebbe tolto ad essi; e in questo caso ancora tal quantità di calorico non apparirà dalle indicazioni del termometro, perchè avrà servito solamente alla dilatazione, sicchè la temperatura sarà pure la stessa che prima dell'esperienza.

Se al contrario, restando quella massa d'aria rinchiusa nello spazio primitivo, le venga comunicata una certa quantità di calorico addizionale, tutta questa quantità resterà nello stato di calorico sensibile per elevarne la temperatura.

Supponiamo finalmente che venga comunicata all'aria questa medesima quantità di calorico, insieme con quella che aveva servito a dilatarla la prima volta, e che quindi venga accresciuto pure d'un decimo lo spazio in cui era rinchiusa: in questo caso vedremo riuniti i due effetti che accadevano separatamente nelle esperienze precedenti, cioè la quantità che aveva prodotta la dilatazione, passando allo stato di calorico latente, produrrà pure lo stesso effetto, mentre l'altra, conservando la forma di calorico sensibile, eleverà la temperatura di un egual numero di gradi. Questo appunto è ciò che accade in generale in tutti i corpi nei quali si va accumulando il calorico.

Il fenomeno prenderà un ordine inverso, se si supponga che una certa quantità di calorico venga sottratta dall'interno d'un corpo; poichè in tal caso questo corpo proverà nel tempo stesso raffreddamento e diminuzion di volume: il primo effetto sarà prodotto dallo sprigionamento di una porzione di calorico sensibile, l'altro dallo sprigionamento della corrispondeute porzione di calorico latente.

Possono ancora ottenersi separatamente questi due effetti, variando le circostanze dell'aria in un ordine inverso dal precedente; ma ciò riescirà più facile a concepirsi per mezzo di alcune esperienze su questo proposito, che formeranno il soggetto di un altro articolo.

151. Per dare un'idea più giusta di ciò che accade negli accennati fenomeni, non dobbiamo tralasciare di osservare una differenza relativa all'andamento delle azioni esercitate dalle due porzioni in cui abbiam supposto esser diviso tutto il calorico che un corpo riceve nel suo interno. Si osserva che la porzione che resta in stato di calorico sensibile è proporzionata alle elevazioni di temperatura da essa prodotte; mentre la porzione che divien latente e che produce la dilatazione segue un rapporto che comunemente non è conforme a quello delle elevazioni di

temperatura, ma varia da un momento all'altro, secondo che il corpo è più o meno disposto a cedere all'azione di questa porzione; varia in ragione della distanza fra le sue proprie molecole, e varia finalmente in forza di altre modificazioni variabili quanto è variabile la dilatazione stessa. Questa osservazione ci sarà utile quando parleremo del termometro.

Equilibrio del calorico.

152. Mentre due corpi, che supponiamo separati, uno caldo, e l'altro freddo, passano all'equilibrio di temperatura, si tramandano continuamente l'uno all'altro varie quantità di calorico radiante, che tendono all'eguaglianza; e appunto quando queste quantità sono eguali ne nasce l'equilibrio. Inoltre una porzione dei raggi tramandati da ciascun corpo viene emessa dal suo interno, e nel suo interno si introduce poi una porzione di quelli che essa riceve, e dall'una e dall'altra di queste porzioni dipende la variazione della temperatura e del volume. Il resto dei raggi tramandati o ricevuti proviene dalle reflessioni che accadono sulla superficie, e non influisce nulla sulla temperatura, come abbiamo già osservato; sul che si noti che le superficie appannate e diseguali conservano nondimeno la facoltà di reflettere, fino a un certo segno, il calorico radiante; e qui pure si osserva moltissima analogia con la luce.

153. Dal paragone dell'emissione e dell'assorbimento del calorico tanto fra loro quanto con la reflessione del medesimo fluido, rileviamo due principii, sui quali è fondata in gran parte la spiegazione dei fenomeni, in cui i corpi son situati fuori del contatto. Per primo principio si rileva che il potere di emettere il calorico interno, che chiameremo *potere emissivo*, e quello di assorbire il calorico che vien dal di fuori, o *potere assorbente*, crescono e scemano di gradi eguali nel medesimo corpo; cosicchè se uno è doppio o triplo, per effetto di qualche circostanza, l'altro crescerà in egual proporzione. Il secondo principio è che il potere di reflettere, a misura che varia relativamente a un corpo stesso, produce una variazione eguale e contraria nel potere di emettere o di assorbire il calorico, di maniera che l'uno scema quanto l'altro cresce, e così reciprocamente; e quindi tutto il calorico che un corpo, che supponiamo aver ricevuto un nuovo grado di lucentezza, reflette più di prima, è la misura di ciò che emette o assorbisce di meno.

154. Ma per progredire gradatamente nella spiegazione dei fenomeni, figuriamoci primieramente due corpi A e B, che non abbiano alcun

potere per reflettere, talmentechè il calorico radiante, che essi tramandano l'uno verso dell'altro, provenga dal loro interno: supponiamo inoltre che essendo questi corpi in presenza l'uno dell'altro, la temperatura di A sia più elevata di quella di B; in tal caso si tramanderanno, come per baratto, una porzione del calorico proprio sotto forma radiante. Ma siccome A è più caldo di B, ne tramanderà a questo in un dato tempo una quantità maggiore di quella che non ne riceverà da esso; sicchè la quantità di calorico perduto da B essendo più che compensata, mentre per A non vi sarà veruna compensazione, la temperatura di B si eleverà, mentre quella di A si abbasserà. Moltiplicandosi questi baratti di calorico fra i due corpi, scemerà la differenza fra le due temperature, e quando le quantità barattate saranno divenute eguali, saranno pure divenute eguali le temperature, e quindi ciascun corpo continuerà a tramandare all'altro una porzione del calorico che riceverà da esso, e questa uniformità di baratti durerà finchè tutto il sistema si riduca alla stessa temperatura.

155. Per fissare le nostre idee, immaginiamoci che la quantità di calorico radiante che ciascun corpo riceve o tramanda in questo stato d'equilibrio, essendo composta di quattrocento raggi, la superficie di A acquisti a un tratto la facoltà di reflettere all'esterno dugento raggi dei quattrocento che giungono a lei: in questo caso il potere emissivo e il potere assorbente si troveranno scemati di egual quantità (§. 153.); sicchè in vece dei quattrocento raggi che erano emessi o assorbiti dal corpo A, in un dato tempo, non ve ne saranno più che dugento. Così i due corpi continueranno a tramandarsi l'uno all'altro quattrocento raggi, ma relativamente a B tutto sarà emesso o assorbito, e relativamente ad A una metà sarà reflessa e l'altra sarà emessa o assorbita; dal che si vede che l'uniformità di temperatura si conserverà in tutti e due i corpi.

Se finalmente B acquisti un potere di reflettere ma inferiore di un solo grado a quello di A, sarà facile concluderne, che fra i quattrocento raggi tramandati o ricevuti da B, trecento saranno soggetti all'emissione o all'assorbimento, e gli altri cento alla reflessione, mentre lo stesso accaderà pure relativamente al corpo A, il quale emetterà o assorbirà dugento raggi e dugento ne refletterà. In tal maniera la distribuzione che si fa fra la superficie e l'interno di ciascun corpo, della quantità di calorico che il corpo stesso riceve o tramanda continuamente, soddisfa nel tempo stesso al rapporto fra i poteri reflettenti e alla condizione di una temperatura costante.

156. In un altro modo accade il passaggio allo stato di equilibrio, in cui il calorico sensibile conserva la sua forma, cioè quando più corpi di

diverse temperature sono in contatto gli uni con gli altri. In tal caso una porzione del calorico contenuto nei corpi più caldi si introduce immediatamente nei più freddi, e si va diffondendo dall'uno all'altro con maggiore o minor difficoltà e più o meno lentamente, finchè la temperatura sia uniforme in tutto il sistema.

Influenza della capacità di calorico.

157. Ritornando al caso in cui i corpi che si comunicano il calorico son separati gli uni dagli altri, esaminiamo più da vicino l'andamento del fenomeno nei momenti che precedono l'equilibrio. Da una parte le reflessioni che accadono sulla superficie dei corpi, dipendono dal rapporto fra i loro poteri di reflettere: dall'altra parte l'effetto del calorico che si imprigiona nell'interno dei corpi stessi, è soggetto all'influenza della natura particolare di ciascun corpo, da cui resultano notabilissime variazioni nelle quantità di calorico che debbon cedersi o assorbirsi dai diversi corpi, affinchè ne derivi l'eguaglianza di temperatura. Per far meglio comprendere in che consista questa influenza, supponiamo primieramente un corpo A, situato ad una certa distanza fra due altri corpi B e C eguali in massa, e che abbiano una stessa temperatura, ma però più bassa di quella del corpo A. Se i tre corpi sono omogenei, B e C, nel momento dell'equilibrio, avranno ricevuto da A eguali aumenti di calorico interno, e il rapporto fra la porzione che ha servito a produrre l'elevazione di temperatura, e quella che produrrà la dilatazione, sarà lo stesso per una parte e per l'altra. Questa eguaglianza esisterà ancora nel caso in cui B e C solamente sieno omogenei.

158. Accaderà poi tutto l'opposto se i tre corpi sieno eterogenei, o se ancora uno dei due corpi B e C sia di sua natura diverso dall'altro. In tal caso la condizione dell'equilibrio richiederà, che il corpo A abbia ceduto quantità diseguali di calorico agli altri due, e quella acquistata da ciascuno di questi ultimi corpi sarà più o meno considerevole, secondo che questo corpo, in virtù della sua natura particolare e della sua tessitura e di altre circostanze, abbisognerà di maggior quantità di calorico per elevare la sua temperatura, e in conseguenza per dilatarsi. Si vede per esempio, che la porzione di calorico che si richiede per la dilatazione, dovrà in parità di circostanze esser maggiore, se l'affinità che produce la coesione delle molecole del corpo oppone maggior resistenza al loro slontanamento. Questa disposizione a ricevere tutto il calorico necessario per produrre il doppio effetto di dilatazione di volume e d'elevazione di temperatura, è quella che in generale noi chiamiamo *capacità di calorico*.

Nell'ipotesi dunque in cui B avesse una capacità maggiore di quella

di C, bisognerebbe che il calorico fosse più accumulato nell'interno del corpo stesso, affinchè il residuo della forza espansiva naturale di questo fluido eguagliasse quello della forza del calorico di C, il quale sarebbe meno abbondante, ma nel tempo stesso meno impedito. Quindi se un termometro applicato al corpo B restasse stazionario, resterebbe tale egualmente presentato in seguito al corpo C, perchè essendo eguali le tensioni del calorico nei due corpi, il termometro pure non potrebbe trovarsi in equilibrio di tensione col corpo B, senza essere egualmente in equilibrio col corpo C.

159. Un simile effetto si osserva nel passaggio allo stato d'equilibrio fra corpi di natura diversa in contatto gli uni con gli altri. Le quantità di calorico cedute dai corpi più caldi ai meno caldi dipendono, in parità di circostanze, dalle capacità di calorico. Non aggiungeremo altro per ora su questa proprietà, della quale però doveva parlarsi in questo luogo; ma è tanto importante questo argomento, che ne faremo in seguito il soggetto di un articolo separato.

Influenza della facoltà conduttrice.

160. Un'altra causa finalmente, che non deve tralasciarsi, influisce sulla durata del passaggio dei corpi all'equilibrio termometrico Questa causa è la facoltà conduttrice del calorico, cioè la maggiore o minor facilità o prontezza con cui una stessa quantità di calorico si propaga nell'interno dei corpi di natura diversa. Quindi è che se si suppongono due corpi egualmente caldi, che abbiano una egual capacità di calorico, ma dotati di una diversa facoltà conduttrice, e se si collochino questi corpi in mezzo a due masse d'aria più calde o più fredde di egual numero di gradi, impiegheranno tempi diseguali per giungere all'equilibrio di temperatura tanto fra loro quanto con l'aria circostante; sicchè il momento di questo equilibrio si troverà ritardato relativamente al corpo che abbia minor facoltà conduttrice.

161. È stato osservato che i metalli in generale sono ottimi conduttori del calorico, mentre il vetro, la resina e altre sostanze simili non hanno che una debole facoltà di condurlo. L'artista che forma col fiato una palla all'estremità di un tubo di vetro, tiene in mano senza incomodo questo tubo ad una piccolissima distanza da quella parte di esso che è in stato di incandescenza, mentre sarebbe impossibile che nel caso medesimo egli potesse maneggiare un tubo di ferro o di qualunque altro metallo: ognuno sa del pari che può maneggiarsi liberamente un cannello di cera lacca nel momento in cui si fonde per sigillare, sol che resti un intervallo di pochi millimetri fra la mano e la parte fusa: nei

quali casi il calore si estende appena al di là del termine della fusione o ancora della infiammazione.

162. Le cause stesse che disturbano o ristabiliscono l'equilibrio termometrico fra i diversi corpi contenuti in un medesimo spazio, producono ancora le varie sensazioni che proviamo in vicinanza di corpi che sono a diverse temperature. Una sostanza che è a contatto con la nostra mano (13) le cede una porzione del suo calorico, la quale dipende, in parità di circostanze, dal rapporto fra le capacità di calorico; e nel provare la sensazione che ne deriva, noi diciamo che quella sostanza è calda. Se al contrario tocchiamo una sostanza che sia ad una temperatura più bassa della nostra mano, quella toglie a questa una porzione di calorico; e nel provare questa sensazione prodotta in noi da questa privazione di calorico, diciamo che una tal sostanza è fredda. Dunque relativamente a noi la temperatura del nostro corpo è il limite del caldo e del freddo; ma però non possiamo in sostanza decidere con questo mezzo se non di una differenza in più o in meno fra due modificazioni, che la testimonianza dei nostri sensi ci fa comparire contrarie. Quindi variando questo limite, cioè elevandosi o abbassandosi la temperatura del nostro corpo giudichiamo fredda una sostanza che ci era sembrata calda in altre circostanze, e reciprocamente.

È noto ancora che noi troviamo freddi i sotterranei in tempo di estate, e caldi nell'inverno: ma queste due sensazioni si trovano così in contrasto fra loro, perchè la temperatura dei sotterranei essendo presso a poco costante, il suo grado è come medio fra quelli ai quali corrisponde la temperatura del nostro corpo nelle due stagioni.

2. APPLICAZIONE DELLA TEORIA PRECEDENTE A VARII FENOMENI.

Abbiamo esposti molti fatti, i quali sembra che non possano meglio spiegarsi che per mezzo del radiare del calorico, nell'ipotesi che esista una materia produttrice del calore. Ma questo argomento ha bisogno di nuove illustrazioni relative a nuove esperienze, per indicare i motivi per cui si ammette un radiare scambievole, e una specie di commercio non interrotto del medesimo fluido fra i diversi corpi situati in presenza gli uni degli altri, per mostrare come si modifica la sua azione per mezzo di un semplice cambiamento nella levigatezza e lucidezza delle superficie, e finalmente per indicare in qual modo tutti i moti di questo agente invisibile sono svelati dal termometro, il quale è come il testimone di essi. Son queste altrettante induzioni, che per se stesse derivano da una serie di fenomeni degni della nostra attenzione, l'intima connes-

(13) Supposta la mano a una temperatura più bassa di quella del corpo che tocca.

sione dei quali coi principii precedentemente stabiliti ne farà vedere nel tempo stesso e la giustezza e la fecondità.

Fra i Fisici che hanno contribuito a estendere la sfera delle nostre cognizioni su questo argomento, due specialmente avremo occasione di citarne, cioè Rumford e Leslie. Il primo si è reso doppiamente celebre con una serie di esperienze ingegnose tanto importanti e tanto utili per le loro applicazioni, che lo collocano non solo fra i Fisici più distinti, ma ancora fra i benefattori dell' umanità (*a*). L' opera dell' altro, indipendentemente dalla bellezza e dalla varietà dei fatti, è stimabile per la profondità con cui l' autore ha studiato l' andamento di essi, e ne ha sviluppate le conseguenze (*b*).

I fatti a cui son giunti questi due autori, senza concertarsi fra loro, sono così concordi, che divengono preziosi, trattandosi di ricerche tanto delicate; e se pure vi è qualche differenza, non è che relativamente alle teorie che essi hanno adottate, e delle quali daremo in seguito un' idea, affine di poterle paragonare tanto fra loro quanto con quella che abbiamo creduto meritevole di preferenza.

Apparecchi destinati per l' Esperienze.

163. Principiamo dal far conoscere i principali strumenti di cui si son serviti questi due Fisici. Rumford ne ha immaginato uno che egli chiama *termoscopio*, e che consiste in un tubo di vetro A B (*fig.* 23.) curvato verso le sue estremità, le quali terminano in palle, M e N: l' interno del tubo è pieno di aria, eccettuato un piccolo spazio occupato da una bolla *g* di alcool colorato di rosso, sicchè quando la temperatura dell' apparecchio è uniforme, la bolla deve trovarsi in mezzo della parte A B del tubo, la quale è mantenuta dal suo sostegno in una situazione orizzontale; e questa bolla da Rumford vien chiamata *indice*.

In questo stato di cose se si ponga in faccia ad una delle palle, come M, un corpo di una temperatura più elevata di quella del termoscopio, il calorico radiante che questo corpo tramanda allo strumento, essendo più abbondante di quello che ne riceve in cambio, l' aria contenuta nella palla M si riscalderà; e la sua elasticità trovandosi aumentata, l' indice sarà spinto verso la palla N. Che se la temperatura del

(*a*) Si veda fra le altre l'opera di questo Fisico che ha per titolo: *Mémoires sur la chaleur. Paris, An. XIII.* (804).

(*b*) *An Experimental inquiry into the nature and propagation of heat* London 1804.

corpo sottoposto all'esperienza sia di una temperatura più bassa di quella del termoscopio, accaderà l'effetto contrario. Questo strumento è tanto sensibile, che quando è alla temperatura di dieci o dodici gradi di Réaumur, se si tiene la mano aperta alla distanza di un metro, ossia tre piedi, da una delle palle, il calorico emanato da questa mano basta per far inoltrar l'indice molti millimetri verso la parte opposta.

I corpi che nelle ordinarie esperienze erano presentati allo strumento, erano vasi cilindrici di ottone con una superficie levigatissima: si empivano secondo le circostanze di acqua più o meno calda o di ghiaccio, di cui il termometro che vi s'immergeva, indicava la temperatura; e si disponevano in modo che le loro basi erano voltate verso le palle del termoscopio.

164. Nell'apparecchio di Leslie, il calorico che produce i fenomeni è reflesso dalla superficie di uno specchio di latta di una figura parabolica o ellittica, al quale l'Autore dà il nome di *reflettente*. I corpi da cui emana il calorico, e che fanno le veci dei cilindri usati da Rumford, son vasi cubici di latta, destinati essi pure a contenere acqua più o meno calda, in cui si immerge egualmente un termometro ordinario, che ne indica la temperatura. Leslie lascia levigata e lucida una delle facce laterali del cubo; incolla un foglio di carta sulla faccia opposta tinta col nero-fumo, e guernisce in diverse maniere le due altre faccie secondo lo scopo che si propone. Mette quindi il vaso cubico ad una certa distanza dal reflettente, in modo che avendo il suo centro situato sull'asse di questo, volta verso la concavità di esso la faccia che è il soggetto dell'esperienza.

Per misurare l'azione del calorico, Leslie, invece del termoscopio descritto di sopra, si serve di un termometro particolare, che ha il tubo curvato in forma di U, e le braccia del quale terminano in due palline eguali; e ad una di queste egli dà il nome di *bolla focale*, perchè nelle esperienze essa occupa sempre il fuoco del reflettente. Quando questa bolla è riscaldata, l'aria interna dilatandosi, spinge dall'alto in basso una colonna d'acido solforico colorato di rosso con carminio, che in parte passa dal braccio adiacente nell'altro braccio, dove il suo moto è indicato da una graduazione applicata a questo braccio medesimo; e ciascun grado della scala è un millesimo dell'intervallo compreso fra il termine della congelazione e quello dell'acqua bollente. L'autore chiama questo strumento *termometro differenziale*, perchè il moto del liquido dipende dalla differenza di elasticità fra le quantità di aria contenuta nelle due palle, e delle quali una è soggetta all'influenza del fuoco, mentre l'altra resta alla temperatura del luogo.

Osserviamo ora particolarmente le esperienze, cominciando da quelle che hanno preceduto le operazioni dei due citati Fisici, e procuriamo di ridurre ad un piccol numero di punti fissi questa gran diversità di resultamenti presentatici e dall' une e dall' altre.

Effetti della reflessione del Calorico.

165. Il calorico può esser sottoposto a una reflessione simile a quella della luce. Già citammo (§. 146) un' esperienza di Schéele, nella quale egli si è servito di uno specchio concavo di metallo per provare questa proprietà del calorico; e Saussure e Pictet ne hanno confermata l'esistenza con un apparecchio molto più comodo per queste osservazioni.

Questi due Fisici fecero infuocare una palla di ferro di 54 millimetri o 2 pollici di diametro, e quindi la lasciarono raffreddare finchè non fosse più luminosa neppure nella oscurità.

Disposero prima due specchi concavi, l'uno in faccia all'altro, distanti circa 4 metri o 12 piedi, quindi fissarono la palla nel fuoco di uno di essi, tenendo un termometro a aria nel fuoco dell'altro. La stanza ove si faceva l'esperienza, era esattamente chiusa, ed erano state prese tutte le precauzioni per evitare tutte le occasioni che avessero potuto accidentalmente alterare la temperatura dell'aria. Appena fu posta la palla in uno dei fuochi, il termometro che era nell'altro, e che prima segnava 4 gradi sopra lo zero, cominciò a salire, e in 6 minuti arrivò a 14 $\frac{1}{2}$°, mentre un altro termometro sospeso fuori del fuoco alla stessa distanza dalla palla e dall'osservatore non salì che a 6°; dunque da questa esperienza resulta, che la reflessione del calorico radiante ha elevata la temperatura 8 $\frac{1}{2}$°. Per allontanare ancora ogni dubbio che questo fenomeno fosse l'effetto di una luce impercettibile all'occhio, Pictet ripetè l'esperienza sostituendo alla palla di ferro un matraccio pieno d'acqua bollente, e il termometro situato nell'altro fuoco indicò un'elevazione di temperatura di più d'un grado (a) Per spiegare questi effetti, supponiamo per un momento che sieno tolti gli specchi; in tal caso la palla ed il termometro anderanno cambiandosi continuamente il calorico, e questo cambio essendo a vantaggio del termometro, la sua temperatura si alzerà. Se quindi si pongano di nuovo gli specchi, accaderanno nuovi baratti di calorico per mezzo dei raggi, i quali, partendo da ciascuno dei due corpi, anderanno a colpire la superficie dello specchio vicino, e reflessi parallelamente all'asse verso l'altro

(a) *Saussure, Voyage dans les Alpes*, n.° 926.

specchio, dopo una seconda reflessione, convergeranno verso il fuoco di questo. Si vede dunque chiaramente, che l'effetto di questa doppia reflessione, unito a quello che proveniva dai baratti diretti, doveva accelerare molto sensibilmente l'elevazione di temperatura nel termometro.

166. Oltre queste esperienze ne è stata fatta un'altra, in cui è comparso uno di quei fatti inaspettati, capaci di sedurre a prima vista qualunque osservatore. Disposto l'apparecchio come nel caso precedente, fu messo un termometro a aria nel fuoco di uno degli specchi, e un matraccio pieno di neve nel fuoco dell'altro; nel primo momento il termometro si abbassò molti gradi, e quindi risalì appena fu levato il matraccio: posto esso nuovamente nel fuoco del medesimo specchio, fu versato un poco d'acido nitrico sulla neve, e l'aumento di freddo che ne resultò, fece abbassare di nuovo il termometro 5 o 6 gradi (*a*).

Questo fenomeno che a prima vista sembrava indicare un'emissione reale di raggi frigorifici, trasmessi al termometro dal matraccio pieno di neve, per mezzo di una doppia reflessione sulla superficie degli specchi, pure non è che una specie d'inversione degli effetti che abbiamo già spiegati, come si può rilevare dalla sola considerazione del calorico radiante. Ancora lontano dagli specchi il termometro provava un abbassamento notabile di temperatura, perdendo qualche cosa nel cambio che faceva col matraccio: ma inoltre con l'intermezzo degli specchi si stabilisce un gran numero di nuovi punti di comunicazione fra il matraccio e il termometro, e da questa circostanza resulta una successione di cambii molto più numerosa e più rapida di quella che accaderebbe, senza l'intervento degli specchi, fra il termometro ed i corpi circonvicini, di cui questi specchi impediscono le azioni; e poichè dall'altra parte la gran differenza di temperatura rende i baratti vantaggiosissimi per il termometro, ne segue che in fine esso deve notabilmente raffreddarsi. In questo caso, per scemare il calore del termometro, abbiamo lo stesso vantaggio che avevamo per accrescerlo, quando invece di un corpo più freddo di esso ponevamo nel fuoco dell'altro specchio un corpo più caldo; se non che nell'esperienza del matraccio, l'emissione più abbondante di calorico prende una strada opposta a quella per cui andava nell'esperienza della palla: e appunto questo cambiamento di dire-

(*a*) *Essais de Physique*, *par Pictet*, *Genève*, 1790, pag. 81. e seg.
In quest' opera si trovano ancora le particolarità relative all'esperienze precedenti.

zione fa comparire all'immaginazione una vera reflessione del calorico sotto l'apparenza di un freddo reflesso (*a*).

Influenza della levigatezza e della lucidezza delle superficie.

167. Abbiamo già parlato (§. 147) dell'influenza, che la levigatezza e la lucidezza delle superficie hanno sulla quantità del calorico tanto reflesso, quanto emesso o assorbito. Nell'apparecchio di Rumford, il termoscopio resta stazionario a egual distanza fra due cilindri egualmente levigati, e di egual temperatura, tanto se essa è superiore quanto se è inferiore a quella dello strumento (*b*). Ed è chiaro che ciò deve accadere in tal modo, poichè essendo simili i baratti che in ciascun caso fanno i cilindri con lo strumento, gli effetti loro debbono essere eguali per accrescere o scemare l'elasticità delle due masse d'aria, situate da una parte e dall'altra dell'indice, talmentechè questo conserva il suo equilibrio.

Che se si tinga di nero la base di uno dei cilindri, quando la temperatura del termoscopio è più bassa di quella dei cilindri stessi, supposti sempre egualmente caldi e ad egual distanza dalle due palle, l'indice si avvicina alla palla la quale è dalla parte del cilindro che ha la sua base levigata (*c*). Ma se la temperatura del termoscopio è più elevata di quella dei cilindri, l'indice è spinto verso la palla che è dalla parte del cilindro annerato.

Per trovar la ragione di questa differenza basta osservare, che la diminuzione sofferta dal potere reflettente del cilindro nero, ha prodotto un aumento proporzionale tanto di potere emissivo quanto di potere assorbente (§. 153). Ma quando i cilindri son più caldi del termoscopio, l'azione del potere emissivo del cilindro nero è favorita dalla temperatura di questo cilindro, più che quella del suo potere assorbente non sia dalla temperatura del termoscopio; quindi è che i baratti fra i cilindri e lo strumento, essendo più vantaggiosi a questo nella parte che è verso il cilindro nero, l'aria nel tempo stesso divien più calda e più elastica dalla stessa parte, e però l'indice si inoltra

(*a*) Tanto in questa che nella precedente spiegazione non abbiam considerato i baratti di calorico radiante che accadono direttamente fra gli specchi e i corpi situati nei fuochi di questi, perchè questi baratti influiscono solamente sulle quantità di caldo o di freddo prodotte dalle reflessioni, e non sulla disposizione che hanno i corpi ad alterarsi in un modo piuttosto che in un altro.

(*b*) *Mem. sur la chal.* p. 43.

(*c*) *Ib.* p. 44.

Digitized by Google

dalla parte opposta. Che se al contrario la temperatura del termoscopio è più elevata di quella dei cilindri, ben si comprende che l'effetto deve essere tutto l'opposto: in questo caso il cilindro nero guadagna nel cambio più del cilindro pulito, e l'indice è spinto dalla parte del cilindro nero, dove l'aria è meno riscaldata per le perdite maggiori che fa lo strumento da questa parte medesima.

168. Analoghi sono i resultamenti che ha ottenuti con le sue esperienze Leslie, il quale avendo empito d'acqua bollente il vaso cubico di latta, di cui abbiam parlato (§. 164), lo dispose primieramente in modo che la parte nera fosse dalla parte del refletrente, e ben presto il termometro differenziale salì a 100; e voltata dalla stessa parte la faccia lucida, il termometro differenziale scese rapidamente a 12°. (*a*).

169. Le precedenti osservazioni mettono in chiara vista la causa di un fatto osservato da lungo tempo, cioè che gli abiti neri son caldi alla presenza del sole in estate, mentre sono tutt'altro all'ombra, e specialmente in una stagione fredda: poichè quando noi ci troviamo esposti al sole vestiti di nero, il nostro corpo è quasi nello stesso caso del cilindro annerito in faccia ad un termoscopio più caldo di esso, e la presenza del quale fa salire la temperatura di questo cilindro più che se fosse pulito. Se al contrario siamo esposti all'ombra, e principalmente se la temperatura dell'aria è più bassa di quella della pelle, proviamo un effetto analogo a quello del cilindro annerito in faccia ad un termoscopio più freddo di esso, e con cui cambia il calorico, ma più svantaggiosamente che se esso fosse pulito e lucido.

Si sa che le superficie bianche egualmente pulite reflettono la luce più di quelle colorate; ed estendendo così alla bianchezza l'analogia fra le reflessioni del calorico e quelle della luce, e ragionando delle stesse superficie quasi come della base del cilindro che ha conservato il suo splendore metallico, si concluderà che nell'inverno le vesti bianche devono essere più calde dell'altre, come ce ne convince l'esperienza; cioè che queste vesti medesime sono le più fresche e quindi le più adattate nella stagione estiva, e specialmente quando siamo esposti agli ardori del Sole (*b*).

(*a*) *An inquiry*, ec. pp. 17. 18.
(*b*) *Mem. sur la chal.*, pp. 125. e 126.

Influenza delle diverse nature delle sostanze.

170. La quantità del calorico radiante per reflessione e quella del calorico assorbito, variano ancora secondo la diversa natura delle sostanze Schéele aveva già osservato, che presentando a un effluvio di calorico uno specchio di vetro invece di uno specchio di metallo, quello riteneva, almeno in gran parte, il calorico senza lasciarlo escire per via di reflessione (*a*). Leslie avendo coperto con un foglio di carta da scrivere una delle facce del vaso cubico del suo apparecchio, e un'altra con una lastra di vetro comune, l'effetto del termometro differenziale, che, come abbiamo detto (§. 168), non era che di 12° quando il vaso era voltato con la sua faccia libera verso il reflettente, divenne di 98° per l'influenza della faccia coperta di carta, e di 90° per quella della faccia coperta di vetro (*b*). Poichè la carta è meno capace del metallo di reflettere il calorico, il suo potere emissivo che variava in modo opposto, faceva crescere altrettanto la quantità di calorico che il reflettente riceveva dalla carta, e che da questa radiava verso la palla focale. Dall'altra parte il vetro che ha un potere più reflettente della carta e molto inferiore a quello del metallo, aveva un potere emissivo un poco minore del primo e molto maggiore del secondo.

171. Con questi principii è facile a comprendersi perchè il termometro differenziale non indica che un leggiero effetto quando si copre la palla focale con una foglia di stagno, e ciò nel caso in cui la superficie nera del vaso cubico è voltata verso il reflettente. Nè più sensibile è l'effetto quando restando scoperta la palla focale, si sostituisce al reflettente metallico uno specchio concavo di cristallo (*c*); nella qual circostanza la maggior parte del calorico tramandata dal vaso cubico verso il cristallo, venendo assorbita da questo, è perduta per il termometro differenziale.

172. Per far rilevare il contrasto fra i resultamenti delle precedenti esperienze, Leslie prende due lastre di vetro, e incolla una foglia di stagno sopra una delle facce di ciascuna di esse: le applica quindi l'una sull'altra in modo che le facce così stagnate sieno a contatto, e le dispone verticalmente, come un parafuoco, fra il vaso cubico pieno d'acqua calda e il termometro differenziale; e in pochi momenti lo

(*a*) *Traité chimique de l'aire et du feu. Paris* 1781, pp. 121. e 125.
(*b*) *An inquiry*, ec. pp. 17. e 18.
(*c*) *Ibid.* pp. 19 e 20.

strumento indica di avere acquistato 18° di calore. Quindi l'autore rivolta le due lastre di vetro, mettendole a contatto per le loro facce nude, e allora il liquido del termometro si abbassa (*a*). In questo secondo caso la foglia di stagno che è voltata verso il vaso cubico, respinge per reflessione una gran parte del calorico che aveva ricevuto; l'altra porzione passa nelle lastre di vetro, e vi resta quasi tutta in stato di calorico sensibile, tanto per la natura del vetro, quanto perchè la foglia di stagno che è dalla parte opposta, ha un potere reflettente che lascia pochissima azione al potere emissivo, sicchè tutto il calorico che è escito dal vaso cubico è quasi perduto per lo specchio. Ma quando le facce stagnate sono a contatto, il calorico tramandato dal vaso cubico, dopo essersi introdotto nella lastra di vetro che è voltata verso questo vaso, si sparge nelle foglie di stagno per la comunicazione che si fa per mezzo del contatto, e finalmente penetra la seconda lastra di vetro, dalla quale ne esce poi una quantità sufficiente per produrre, per mezzo del reflettente, un'azione sensibilissima sul termometro differenziale.

Circostanza singolare in cui il Termoscopio resta stazionario.

173. Un termoscopio posto a egual distanza fra due corpi simili, resta stazionario quando la sua temperatura è media fra le temperature di questi corpi. In questa esperienza che è una delle più famose fatte da Rumford, due cilindri di eguali dimensioni eran situati da una parte e dall'altra di una stessa palla del termoscopio, di maniera che eran voltati con le proprie basi verso due punti opposti di essa. La temperatura del termoscopio, come pure quella dell'aria circostante, essendo per esempio 30° più bassa di quella di uno dei cilindri, e altrettanto più alta di quella dell'altro, l'indice restava senza moto fra i due cilindri, i quali nondimeno variavano di temperatura continuamente, avvicinandosi all'eguaglianza (*b*).

Per intender la ragione di questo effetto singolare, bisogna considerare primieramente che è lo stesso il rapporto fra le capacità di calorico del termoscopio e di ciascuno dei due cilindri, come pure fra i poteri reflettenti, poichè i cilindri son simili per natura, per forma e per pulitezza. Ora le quantità di calorico che riceve il termoscopio da ciascun cilindro o che gli tramanda, dipendono e da questo rapporto e dal numero di gradi di cui la temperatura di ciascun cilindro è superiore o inferiore a quella dello strumento; dunque poichè questo numero

(*a*) *An inquiry*, ec. p. 35.
(*b*) *Mém. sur la Chaleur*, p. 37.

è lo stesso per una parte e per l'altra, ne segue che se il termoscopio in un tempo dato riceve dal corpo caldo mille particelle per ogni dieci che gliene trasmette, ne trasmetterà mille al cilindro freddo per ogni dieci che ne riceverà. Così il termoscopio guadagnando continuamente per una parte ciò che perde per l'altra, conserverà costantemente la sua temperatura, e i due cilindri si cambieranno reciprocamente il calorico per mezzo di questo strumento, senza che esso, per così dire, se ne accorga (*a*).

174. Se ora si anneriscano i due cilindri, supposte sempre eguali le temperature, l'indice in questo caso ancora resterà immobile, poichè quanto la perdita di levigatezza e di lucidezza scema in ciascun cilindro il potere reflettente, altrettanto accresce il potere emissivo e nel tempo stesso il potere assorbente. Quindi, per esempio, se nel primo istante il cilindro caldo tramanda dal suo interno verso il termoscopio 200 raggi di più di quando era pulito, e riceve da esso per assorbimento 400 raggi di più, il termoscopio tramanderà verso il corpo freddo 200 raggi di più per essere assorbiti, e ne riceverà 400 di più per emanazione dall'interno: dunque, essendo così tutto compensato, sussisterà l'equilibrio.

Leggi del Raffreddamento dei corpi in generale, e della Propagazione del calore per mezzo dei corpi solidi.

175. Se si divida in eguali istanti, come in minuti, l'intervallo di tempo che un corpo impiega a raffreddarsi per un certo numero di gradi, e se si prendano successivamente tali numeri di minuti che, principiando dall'origine del raffreddamento, formino una progressione aritmetica, le differenze corrispondenti fra la temperatura del corpo e quella dell'atmosfera circostante, sono in progressione geometrica. Questa legge fu indicata da Newton nella sua memoria intitolata: *Scala dei gradi di calore e di freddo* (*b*). Perchè sussista tal legge, basta, come osservò Prevost (*c*), che un corpo, che si suppone situato in uno spazio assolutamente freddo, ad ogni istante perda radiando una porzione del suo calorico interno, proporzionata sempre però a quello che

(*a*) Rumford aveva avuta la precauzione di disporre varii parafuochi in una certa maniera atta a preservare la palla opposta a quella su cui faceva l'esperienza, dall'azione dei corpi che si presentavano a questa, e da qualunque estranea influenza.

(*b*) *Transact. Philos.*, *Avril* 1701, n. 2. *Newtoni Opusc.*, T. II. p. 419.

(*c*) *Recherches Physico-Mecan. sul la chaleur* p. 23.

gli resta. Per esempio, se nel primo istante perde $\frac{1}{10}$ di tutto il suo calore, nel secondo istante dovrà perdere $\frac{1}{10}$ dei $\frac{9}{10}$ che gli restano, e così di seguito. E se il corpo, invece di esser situato in uno spazio senza calore, si trovi immerso in un mezzo meno caldo di se; ma sempre rinnovato in modo da conservare costantemente la sua temperatura, avrà luogo la stessa legge per l'eccesso di calore di questo corpo sulla temperatura del mezzo in cui si trova: poichè siccome la porzione del calore del corpo eguale al calore del mezzo cambia con questo quantità eguali, il corpo è nel caso stesso come se occupasse uno spazio freddo, con un calore misurato dalla differenza fra la sua vera temperatura e quella del mezzo in cui è immerso.

Krafft e Richmann avevano già dimostrata questa legge con esperienze dirette (*a*); e Rumford ne ha in seguito confermata l'esistenza per mezzo di un apparecchio semplicissimo, il quale consiste in un vaso cilindrico di ottone, guernito esteriormente da un inviluppo adattato a contenere il calore. Empito di acqua calda un vaso, in cui era immerso un termometro a mercurio, paragonando il progresso del raffreddamento con la durata dei tempi corrispondenti, fu scoperta questa legge, la quale può rappresentarsi con un logaritmo, come fece Rumford (*b*).

176. Per quanto importanti sieno per se stessi questi resultamenti, fondati su principii stabiliti da Newton, pure non hanno luogo, senza variazione sensibile, se non fra certi limiti di calore. De Laroche ha provato con esperienze decisive, che quando la temperatura dei corpi era elevatissima, la perdita di calorico che essi facevano in un dato istante, era molto maggiore di quella che avrebbero dovuto fare, supponendo che essa seguisse il medesimo rapporto. Sembra che Newton, avendo ristretto in questi limiti le sue esperienze, si fermasse al punto in cui credè di aver veduto assai, per esser sicuro che la legge che resultava da questi fatti era effettivamente una legge generale di natura, e pensò che essa dovesse estendersi ancora al di là dei limiti delle sue osservazioni.

177. I resultamenti che presentava de Laroche non erano che effetti di osservazioni staccate, che non si riunivano sotto veruna legge: quindi Dulong e Petit avendo preso di nuovo a trattare questo argomento, trovarono che la serie intera relativa al progresso del raffreddamento per tutte le temperature, poteva suddividersi in molte serie parziali, in ciascuna delle quali le differenze fra i rapporti di due termini consecutivi erano così piccole, che l'andamento del fenomeno non poteva rap-

(*a*) *Nova commentaria Acad.* Petrop., T. I. p. 195.
(*b*) *Mem. sur la chaleur.* p. 12.

presentarsi, almeno approssimativamente, con l'espressione di una legge costante (*a*).

Con questa osservazione hanno essi potuto stabilire per ciascuna serie il rapporto fra gli eccessi di temperatura e i termini corrispondenti, e con grandissimo vantaggio hanno potuto rassomigliare ciascuna porzione di serie a quella, gli estremi della quale corrispondevano ai limiti delle osservazioni Newtoniane.

178. La legge che avea servito come di modello a tutto ciò che era stato fatto su questo proposito, riprodotta sott'altra forma nella propagazione del calore per mezzo dei corpi solidi, ha servito a Biot per fare una nuova applicazione dell'analisi Matematica alla Fisica. Ecco in che consiste l'apparecchio di cui egli si servì.

Supponiamo una sbarra metallica messa in comunicazione con una sorgente costante di calore, come un vaso pieno di acqua calda o di piombo fuso, del quale si mantenga costante la temperatura. Il calore che abbonda in questa sorgente, andrà comunicandosi alle diverse parti della sbarra; e se mentre accade questa comunicazione, si considera lo stato di un punto qualunque, si comprenderà che questo riceve dal punto precedente una certa quantità di calorico, di cui comunica una porzione al punto susseguente, mentre un'altra porzione si dissipa nell'aria tanto per l'immediato contatto di questo fluido, quanto per la facoltà di radiare del calorico stesso. Finchè la perdita che deriva da queste due cause, è minore della quantità del calorico ricevuto, la temperatura dei diversi punti della sbarra si eleva continuamente, ed è facile il vedere che sarà più alta nei punti più vicini alla sorgente del calore, e più bassa in quelli che sono più lontani, dimanierachè essa forma una serie di termini decrescenti, andando dall'estremità immersa nella stessa sorgente verso l'estremità opposta. Ora a misura che ciascun punto si riscalda, scema la sua disposizione a ricever nuovo calorico, e nel tempo stesso la quantità di calorico che essa perde ad ogni istante, è sempre meno diversa da quella che riceve; e quando le due quantità son divenute eguali, cessa la comunicazione e si trova stabilito l'equilibrio.

In questo caso se si prenda sulla sbarra metallica una serie di punti, le distanze dei quali dalla sorgente formino una progressione aritmetica, gli eccessi delle temperature corrispondenti sopra la temperatura dell'aria circostante sono in progressione geometrica (*a*).

(*a*) *Annal. de Chimie et de Phys.* T. VII, 1817, pp. 113, 225 e 337.

(*b*) Si vede chiaramente che la prima progressione è crescente, mentre la seconda è decrescente.

Per stabilire con l'osservazione questa legge furon fatti sulla sbarra metallica alcuni fori, distanti fra loro quattro decimetri. in ciascuno di questi, empiti tutti di mercurio, furon posti altrettanti termometri, indicanti ciascuno la temperatura del foro corrispondente. In questa esperienza si procurò di mantenere una corrente di aria intorno all'apparecchio, osservando le variazioni di temperatura che potevano accadere. Era così lunga questa sbarra, che giunta allo stato d'equilibrio, i suoi punti più lontani dalla sorgente di calore non ne avevano risentito un effetto sensibile, dimanierachè si trovavano ad una temperatura quasi eguale a quella dell'aria circostante. Prendendo dunque da una parte le differenze fra le temperature dei diversi termometri e quella dell'aria, e dall'altra parte le distanze fra gli stessi termometri e la sorgente del calore, si trovò che le une e le altre seguivano un rapporto conforme alla legge che abbiamo indicata.

179 Il dotto autore di queste esperienze ne ha fatto il soggetto di un problema, di cui ha cercato la soluzione in teoria. È partito dal principio che, quando si mettono a contatto due corpi di temperature diverse, la porzione di calore che il più caldo comunica in brevissimo tempo al più freddo, è proporzionale alla loro differenza di temperatura. Combinando questo principio con le diverse quantità che entrano come elementi nella maniera con cui si propaga il calore, è giunto ad una legge rappresentata da un logaritmo, le ascisse del quale si riferirebbero alle distanze successive fra i differenti punti della sbarra e il fuoco comune, e le ordinate si riferirebbero agli eccessi delle temperature dei medesimi punti sulla temperatura dell'aria circostante. I resultamenti ottenuti da questa legge per mezzo del calcolo, sono perfettamente conformi a quelli che si ritraggono immediatamente dall'osservazione.

Influenza di certi intonachi per variare il progresso del raffreddamento.

180. Se si applichi sulla superficie di un corpo un intonaco di diversa natura, e quindi si riscaldi il corpo stesso, è chiaro che la presenza dell'intonaco potrà più o meno influire sul progresso del raffreddamento che soffrirà questo corpo. Su questo proposito Rumford ha fatto una di quelle esperienze, che sono tanto più importanti quanto che indicano il limite dei fenomeni. Preso un vaso cilindrico di metallo con superficie levigata e lucida, l'empì d'acqua calda, ed osservò il progresso del raffreddamento: quindi votatolo ne coprì la superficie con un semplice strato di vernice che lasciò seccare prima di riempirlo nuovamente; e in questo caso osservò un'accelerazione nel raffreddamento. Aggiunse

poi un altro strato, e quando fu secco, ripetendo l'esperienza, vide che il raffreddamento era più rapido della prima volta; e due altri strati lo accelerarono ancora di più: ma questa accelerazione accadeva con differenze sempre decrescenti, e aggiunti altri quattro strati, cioè otto in tutto, il raffreddamento era più lento, benchè sempre però più pronto che quando la superficie era nuda (*a*).

Per spiegare questo fenomeno si osservi, che la vernice stesa sulla superficie del cilindro lo rende meno reflettente, indebolendone la levigatezza e la lucidezza; e poichè viene ad accrescersi in proporzione il potere emissivo, una porzione del calorico che il vaso riteneva prima nel suo interno, esce radiando, lo che favorisce il progresso del raffreddamento. Ma vi è un'altra causa che contribuisce a questo raffreddamento: il cilindro infatti perde ancora una porzione del suo calorico a motivo della sua comunicazione immediata con l'aria circostante; e la facilità con cui accade questo ultimo effetto, dipende dalla facoltà conduttrice del calorico. Ora poichè la vernice, la quale in parte è della natura delle sostanze resinose, possiede questa qualità in un grado molto minore del cilindro metallico, la sua presenza, mentre indebolisce la facoltà conduttrice di questo, ne scema ancora la disposizione a cedere una porzione del suo calorico all'aria con cui è a contatto, e ciò tanto maggiormente quanto è più denso l'intonaco. Dall'altra parte la causa che accelera il raffreddamento, cioè la diminuzione di levigatezza, resta quasi la stessa, non ostante che si applichino nuovi strati, mentre l'effetto della causa ritardatrice, cioè l'indebolimento della facoltà conduttrice del calorico, va sempre aumentando; talmentechè questo effetto dopo esser giunto a poco a poco ad eguagliar quello della causa opposta, infine diviene superiore, e allora una meno facile comunicazione compensando ampiamente il cilindro della perdita che fa a motivo della sua lucidezza, il raffreddamento, dopo aver sofferta un'accelerazione che diveniva sempre meno sensibile in ciascuna esperienza successiva, prende un ordine inverso e va rallentandosi.

Influenza dell'agitazione dell'aria sulla durata del raffreddamento.

181. Leslie osservando il fenomeno in circostanze diverse, ha ottenuto un effetto non meno curioso. Egli avea osservato, che il moto più o meno rapido dell'aria circostante contribuiva notabilmente a far variare il progresso del raffreddamento, e che ciò dipendeva moltissimo dalle

(*a*) *Mém. sur la chaleur*, *p.* 20.

qualità e dalla levigatezza delle superficie. In conseguenza di questa osservazione prese due globi voti di metallo di egual diametro, uno che avea la sua lucidezza naturale, l'altro coperto di uno strato di nero di fumo; e riempitili ambedue d'acqua calda li espose all'aria aperta all'azione del vento. Scelse il tramontar del Sole per fare questa esperienza, perchè allora la luce venendoci debolissima dal cielo, il calore che accompagna sempre questo fluido], non può portare modificazioni sensibili sui corpi. La temperatura dell'acqua contenuta nei due globi, indicata dai termometri che vi erano immersi, era al principio dell'esperienza 20° più alta di quella dell'atmosfera; ed egli osservò attentamente quanto tempo ciascun globo impiegava a raffreddarsi, finchè la differenza fosse scemata della metà, ossia finchè la temperatura non si fosse abbassata di dieci gradi: spirando un leggiero vento fresco, il globo lucido vi impiegò 44′ e il nero 35′; a un vento assai forte di tramontana il primo giunse a questa temperatura in 23′ e il secondo in 20′ $\frac{1}{4}$; a un vento violento il primo in 9′ $\frac{1}{2}$ e il secondo in 9′ (*a*). Così per una parte i tempi del raffreddamento scemavano quanto più l'aria era agitata, e dall'altra parte il rapporto loro si avvicinava sempre più al suo limite che era l'unità.

La causa di questo fenomeno dipende dalla differenza fra le facoltà conduttrici esercitate dal metallo e dal nero di fumo, unitamente a quella che esiste fra i poteri emissivi dell'uno e dell'altro. Il primo ha la facoltà conduttrice in maggior grado, quindi è che in parità di circostanze il globo lucido tende a comunicare all'aria col semplice contatto maggior quantità di calorico, che il globo con superficie nera: ma il di più che perde il globo lucido è molto meno sensibile in un'aria tranquilla, perchè l'aria è poco disposta per se stessa a ricevere e propagare il calorico: dall'altra parte il globo stesso che ha un debole potere emissivo, non abbandona che con lentezza il suo calorico per via del radiare, e in tal caso diventa grandissima quella specie di economia che ne resulta, talmentechè il raffreddamento di questo globo divien più tardo di quello del globo nero, il quale è vero che più difficilmente si presta alla comunicazione per contatto, ma però esercita il suo potere emissivo con molto maggiore energia.

Accade tutto l'opposto, quando l'aria essendo agitata rinnova continuamente i suoi punti di contatto con le superficie dei due globi, specialmente se questo rinnovamento sia rapido; nel qual caso l'effetto della facoltà conduttrice del globo lucido diviene accelerato: e questa accelerazione andando sempre crescendo con l'agitazione dell'aria,

(*a*) *An Inquiry* ec. p. 271.

porta gradatamente la celerità relativa del raffreddamento a un termine vicinissimo all' eguaglianza

Breve esposizione delle teorie di Rumford e di Leslie.

182. I due celebri Fisici che con la loro sagacità e accortezza nell'arte di interrogar la natura, sono giunti a scoprire i fatti che abbiamo esposti, riguardano la teoria, come già abbiamo accennato, sotto punti di vista differentissimi. Secondo Rumford il calore non resulta dall'azione di un fluido, ma da un moto vibratorio che agita le molecole di tutti i corpi, e la celerità del quale è più o meno accelerata secondo le circostanze (*a*).

Questo moto si comunica da una certa distanza per mezzo dell'etere, cioè di un fluido sottilissimo ed elasticissimo che penetra tutti i corpi, e riempie tutto lo spazio intermedio. Le molecole dei corpi con le vibrazioni loro eccitano nell'etere certe ondulazioni analoghe a quelle prodotte nell'aria dai corpi sonori, e che essendo capaci di propagarsi in tutte le direzioni, producono i cambiamenti di temperatnra che disturbano o ristabiliscono l'equilibrio termometrico fra i corpi situati nella sfera di queste ondulazioni. Se un corpo caldo si trova in presenza di un corpo freddo, le vibrazioni più rapide delle molecole del primo, trasmesse dall'etere a qnelle del secondo, accelerano le vibrazioni di queste; e per un effetto contrario le vibrazioni più lente delle molecole del corpo freddo, a cui l'etere serve pure di conduttore, rendon più lente le vibrazioni delle molecole del corpo caldo; e le temperature arrivano ad eguagliarsi quando le vibrazioni per una parte e per l'altra son divenute isocrone.

L'autore, per adattarsi al linguaggio che è in uso, dà il nome di *raggi* ai moti rettilinei per mezzo dei quali si propagano le vibrazioni; e chiama *raggi calorifici* i moti che hanno un'azione acceleratrice, e *raggi frigorifici* quelli che esercitano nn'azione ritardatrice: quindi i medesimi raggi che son calorifici, andando da un corpo caldo a un corpo freddo, possono divenir frigorifici, andando da un corpo caldo a uno più caldo. Per altro le espressioni *calorifici* e *frigorifici* non devon prendersi in un senso assoluto, ma son relative ai diversi stati dei corpi che servono come di soggetto ai moti eccitati dalle vibrazioni.

(*a*) Fra le difficoltà che oppone Rumford contro l'esistenza di un fluido calorifico, una delle più concludenti nell'opinione di questo celebre fisico, cioè quella che si deduce dalla gran quantità di calore che si sviluppa nella compressione dei metalli, è stata potentemente sciolta da Berthollet, *Statique chimique*, l. 1, p. 247. e seg.

Secondo questa medesima ipotesi, un corpo cresce o scema di volume a misura che si riscalda o si raffredda, perchè lo spazio percorso dalle sue molecole, e che misura l'estensione delle vibrazioni, cresce o scema contemporaneamente alla velocità; di modo che si dilata o si ristringe in egual proporzione il volume, che vien determinato dalla riunione degli spazii percorsi.

183. Leslie al contrario trova in questi fenomeni sicure e evidenti prove dell'esistenza di una materia produttrice del calore (*a*), capace di dilatare i corpi e di elevarne la temperatura. Non ammette la teoria del calorico radiante (*b*), e pensa che l'aria sia il conduttore del calore, o il mezzo di comunicazione fra i corpi che esercitano un'azione gli uni sugli altri secondo la diversità della propria temperatura. Riscaldandosi a un tratto le particelle d'aria vicina ad una superficie calda, acquistano una forza espansiva, l'azione della quale si propaga per mezzo di una specie di moto ondulatorio, e così ripetendosi ogni momento questo effetto, tutta la massa d'aria adiacente al corpo caldo, senza che venga sensibilmente a cambiar di luogo, acquista un certo ondeggiamento, per mezzo del quale vien trasportato il calore nella stessa maniera del suono. In quanto poi all'azione contraria delle superficie fredde, l'autore la spiega supponendo che in questo caso l'aria vicina provi un certo moto di contrazione che produce un abbassamento di temperatura (*c*).

Per spiegare la varietà che esiste fra i corpi relativamente al potere di emettere il calorico, Leslie dopo aver osservato che non esiste contatto immediato in natura, pensa che l'intervallo che separa la superficie di ciascun corpo dalla superficie della massa d'aria vicina, cresca o scemi secondo le varie qualità dei corpi; e quanto è minore questo intervallo, tanto sono più rapide quelle specie di pulsazioni che soffre l'aria, e tanto maggior forza acquistano per eseguire la scarica di un corpo caldo. Secondo questo principio dobbiamo pensare che la distanza fra l'aria e il vetro è minore di quella fra l'aria e un metallo levigato, e quindi la superficie del vetro facendo sull'aria un'impressione più forte di quella che proviene dalla superficie di un metallo levigato, la scarica ancora accade più prontamente e con maggiore energia per mezzo della superficie vitrea, che della superficie metallica (*d*). Che se si alteri questa superficie, e si riduca scabra diseguale, questo cambiamento di stato produce fra l'aria e le parti salienti della superficie stessa un ravvi-

(*a*) *An Inquiry*, p. 27.
(*b*) *Ib.* p. 43.
(*c*) *Ib.* p. 222.
(*d*) *Ib.* p. 247.

cinamento più esatto di quello di prima; e l'accelerazione che ne resulta nel moto del fluido circostante, è causa pure di un'accelerazione nella scarica stessa (*a*).

184. Queste due teorie delle quali abbiamo dato solamente un'idea, son diverse non tanto fra loro quanto da quella che abbiamo adottato. Ognuno dei due autori riguarda la sua come una conseguenza immediata dei fatti; ma se è pur vero che, nello stato presente delle nostre cognizioni, nulla può dimostrarsi se non i fatti stessi, lo che è pur un gran vantaggio, e se nell'ignoranza in cui siamo sulla vera natura del calorico e sul modo con cui esso opera, deve preferirsi quell'ipotesi che suggerisce idee più chiare, e che appaga meglio lo spirito, crediamo di poterci lusingare di aver fatta la scelta migliore. Il doppio radiar del calorico per emissione, e i cambii reali che ne resultano fra i corpi, sembrano facili a comprendersi assai più che i raggi calorifici e frigorifici di Rumford. Nel passaggio allo stato d'equilibrio fra un corpo caldo e un corpo freddo, l'accelerazione che soffrono le molecole di questo è prodotta dalla combinazione di un moto più rapido, cioè di quello che l'etere ha ricevuto dal corpo caldo, con un moto meno rapido, cioè con quello delle molecole del corpo freddo; e la diminuzione di celerità che accade nelle vibrazioni delle molecole del corpo caldo, dipende da una combinazione che ha gli stessi elementi, se non che il moto meno rapido è quello dell'etere. Perchè la spiegazione soddisfacesse pienamente, bisognerebbe conciliare la diversità degli effetti con la somiglianza delle cause.

Nell'ipotesi del dotto fisico inglese, difficilmente si acquista una giusta idea del modo con cui il calore, che è l'effetto d'un fluido reale, si propaga per mezzo di vibrazioni impresse a un altro fluido, che è l'aria atmosferica; e l'autore stesso non si esprime forse con tutta la chiarezza che potrebbe desiderarsi. Dall'altra parte è noto che dovunque esiste un corpo più caldo dell'aria, si formano due correnti di questo fluido, una delle quali ritorna verso le parti superiori del luogo, mentre l'altra arriva dal basso per occupare il posto della prima. Ora mentre il calore si sparge dal basso in in alto per mezzo di questo doppio moto dell'aria, continua a propagarsi in linea retta in tutte le direzioni (§. 145.), e questa composizione di moti che non è niente favorevole alla teoria di Leslie, non presenta più veruna difficoltà, se si supponga che il calore ascendente derivi dalla comunicazione per contatto, e che quello che si sparge in tutte le direzioni sia l'effetto del radiare. Non è meno difficile il conciliare con la stessa opinione la propagazione del calore nel vuoto.

(*a*) *An Inquiry*, p. 249.

Finalmente considerando che il potere di respingere il calorico senza assorbirlo, cresce e scema in generale in proporzione della lucidezza delle superficie, siamo naturalmente portati a pensare che l'agente il quale produce questo effetto opera come la luce, la quale reflette più abbondantemente sulle superficie lucide e levigate. Le tante analogie che esistono fra due esseri che molti Fisici riguardano anzi come identici, suggeriscono l'idea d'una teoria simile per l'uno e per l'altro; e quella della luce, riguardata secondo Newton come un fluido radiante, soddisfa in tal modo, che sembra fatta per servire nel tempo stesso di modello per la spiegazione di questa bella serie di fenomeni svelatici da Rumford e da Leslie.

Formazione della rugiada.

185. Sono già molti anni da che la teoria del calorico radiante ha ricevuto un'estensione importante dall' applicazione che ne è stata fatta alla formazione della rugiada, fenomeno di cui non avevano i fisici concepita una giusta idea, perchè non avevano ben conosciuto qual parte abbia il calorico nella produzione di essa.

Fra le varie opinioni emesse sulla causa di questo fenomeno, quella che sembrava più naturale era quella secondo la quale la rugiada era simile alla pioggia, e dipendeva immediatamente dal raffreddamento dell' atmosfera, da cui derivava la precipitazione di una porzione dell' umido del quale essa era imbevuta. Ma si opponevano a questa spiegazione molte osservazioni, delle quali una delle più antiche era stata fatta da Aristotele, cioè che la rugiada non si posava se non nelle notti tranquille e serene. Era stato osservato ancora che i metalli levigati erano meno atti degli altri corpi a coprirsi di rugiada. Vi è un'altra circostanza che meritava pure d'essere osservata da' fisici, cioè che la superficie del suolo e le piante che crescono in esso, non acquistano sotto un cielo sereno se non una temperatura inferiore a quella dell'aria che le bagna: ma essi supponevano che il raffreddamento di queste fosse un effetto della rugiada che si era posata sulla superficie delle piante, e non sapevano che questi corpi erano più freddi dell' aria circostante prima ancora che fossero bagnati dalla rugiada.

186. Siamo debitori al D. Wells, dotto fisico inglese, di una teoria la quale riduce tutte le circostanze del fenomeno a una spiegazione non meno ingegnosa che soddisfacente (*a*). Per mezzo di una serie di esperienze

(*a*) *Essai sur la rosée et sur divers phénoménes qui ont rapport avec elle, par Charles William Wells, traduit de l'anglais sur la seconde edi-*

fatte con tutta la precisione, ha conosciuto che la formazione della rugiada è preceduta dall'abbassamento di temperatura sotto quella dell'aria circostante; e da questa osservazione unita a molte altre che abbiamo citate, egli trae la conseguenza che la vera causa della rugiada è il radiar del calorico. Poichè questa proprietà è reciproca fra i differenti corpi situati in un medesimo spazio, se i cambii che ne resultano sono diseguali, la temperatura di ciascun corpo si abbasserà o si eleverà secondo che emergerà da esso maggiore o minor quantità di calorico in un tempo dato. E poichè questa quantità è maggiore nelle piante che nell' aria circostante, ne segue che raffreddandosi l'aria che le bagna, abbandona sulla superficie di esse una porzione dell'umido che tiene in se. I metalli levigati radiando molto più debolmente delle piante, non hanno quasi veruna disposizione a coprirsi di rugiada, quando si trovano posti in circostanze analoghe a quella in cui soglion trovarsi le piante; e questa mancanza di disposizione varia secondo i diversi metalli: così è maggiore nell'oro, nell'argento, nel rame e nello stagno, che nel platino, nel ferro, nell'acciaio e nello zinco.

187. Inoltre la proprietà conduttrice del calorico, che è molto considerevole nei metalli, fa sì che essi prontamente entrano a parte del calore terrestre che impedisce loro di raffreddarsi nella notte, lo che è un'altra causa per cui resistono alla formazione della rugiada; e il platino che è il meno conduttore di tutti, è quello infatti che più di tutti si inumidisce

Nel tempo stesso si comprende perchè generalmente la rugiada non si posa in grande abbondanza se non nelle notti tranquille e serene, poichè allora le parti superiori dell'erba tramandano il calorico loro radiante verso uno spazio libero, da cui nulla o quasi nulla ricevono in cambio; mentre se in questo spazio esistano nebbie, la perdita di calorico che fanno l'erbe per effetto del radiare, è più o meno compensata dal contrario radiare della superficie inferiore di queste nebbie, per la qual cosa è molto minore la quantità di rugiada che ricevono le piante.

188. Per una simile ragione un riparo interposto fra i corpi e il cielo ritarda il loro raffreddamento, perchè la sua superficie che è in faccia ad essi, col suo radiare li preserva da una porzione della perdita che essi farebbero restando esposti all'aria libera. I ripari che usano i giardinieri per impedire che periscano le piante delicate, difendendole dall'azione del freddo dell'atmosfera, servono al fine per un motivo diverso,

tion, *par S. Aug. Tordeux. Paris* 1817. Si veggano ancora gli annali di chimica e di Fisica t. VI. p. 183. e seg.

cioè perchè la superficie dei ripari voltata verso le piante, radiando verso di esse, ne impedisce l'abbassamento di temperatura.

189. Da quanto abbiamo detto resulta che la rugiada deve continuare a formarsi finchè la notte resta tranquilla e serena, e quindi nulla di più falso quanto l'opinione che essa apparisca soltanto la sera e la mattina; poichè a qualunque ora della notte si esponga un corpo all'aria sotto un cielo puro, si vede ben presto inumidito.

190. I venti che spirano mentre si forma la rugiada, ne arrestano o ne ritardano i progressi; poichè i nuovi strati d'aria che sottentrano a quelli trasportati dai venti stessi, essendo più caldi di questi, cedono ai corpi terrestri sottoposti una quantità di calorico maggiore di quella che ricevono, e però indeboliscono la disposizione di questi corpi medesimi a coprirsi di rugiada. Oltre l'azione dei venti v'è pure un'altra causa di cui parleremo in seguito, e che dipende dalla facoltà che hanno le correnti d'aria di favorire e accelerare l'evaporazione.

191. Quando l'erba e gli altri corpi si raffreddano rapidamente, la rugiada si congela sulla superficie di loro, e passa allo stato di brinata.

Poichè l'acqua, secondo le osservazioni di Leslie, ha un potere radiante superiore forse a qualunque altra sostanza nota, l'azione di questo potere accelera la conversione della rugiada in ghiaccio.

192. Coi medesimi principii si spiega la formazione artificiale del ghiaccio, che si fa al Bengala nelle notti d'inverno, e a una temperatura sopra lo zero. I fabbricanti di ghiaccio fanno in un piano scoperto varii scavi di figura quadrata, dei quali coprono il fondo con canne di zucchero e con fusti di gran-turco, e su questi fondi così preparati pongono piccoli vasi di terra di circa un pollice e un quarto (33 millimetri) di profondità, pieni d'*acqua dolce bollita;* e poichè quei vegetabili su cui posano questi vasi sono debolissimi conduttori del calorico, impediscono che il calor centrale venga trasmesso a quell'acqua; ed hanno osservato che l'operazione riesce meglio nelle notti tranquille e serene, e che le nebbie e i venti nuocono moltissimo alla formazione del ghiaccio.

193. È chiaro dunque che la teoria di Wells, oltre l'esser concorde con lo stato del cielo e con l'altre circostanze che, nell'ipotesi a cui si riferisce, devon favorire la formazione della rugiada, fa ancora dipendere il raffreddamento che la produce, dal calorico radiante tramandato dai corpi destinati a ricevere questa rugiada, il quale è tanto abbondante, che nei cambii che essi fanno con l'aria perdono assai più di essa: dunque questo raffreddamento è una causa e non una conseguenza della formazione della rugiada, come è stato creduto per lungo tempo. Questa in-

versione nell' andamento del fenomeno lo stacca da quelli fra i quali per analogia era stato posto, e lo colloca in una classe a parte, indicata dalla nuova forma sotto la quale in esso si presenta il calorico.

3. DEL CALORICO SPECIFICO.

194. Non abbiamo alcun mezzo per conoscere la quantità assoluta di calorico contenuto in un corpo; anzi nello stato presente della fisica, non possiamo neppure stabilire i rapporti fra le quantità assolute di calorico dei diversi corpi, come stabiliamo quelli che esistono fra le densità dei corpi stessi, quantunque non ve ne sia neppur uno di cui conosciamo la densità assoluta. Dunque non possiamo fare se non il paragone fra gli aumenti di calorico ricevuto dai diversi corpi, elevati a egual temperatura.

195. Per formarci un' idea di questi resultamenti a cui si giunge per mezzo di tal paragone, mescoliamo insieme un chilogrammo o 2 libbre d'acqua alla temperatura di 34° sopra lo zero, con un chilogrammo di mercurio alla temperatura di zero; l'acqua cederà al mercurio una porzione del suo calorico, finchè si stabilisca l'equilibrio, cioè finchè la temperatura delle diverse parti della mescolanza sia arrivata all'uniformità, e a questo punto un termometro immerso nella mescolanza indicherà una temperatura di 33°. Dunque si conclude che l'acqua ha perduto una quantità di calorico necessario per elevare di un grado la sua temperatura, e che questa medesima quantità di calorico è capace di elevare di 33° la temperatura del mercurio; quindi è che la quantità che si richiede per elevar questo di un grado non è che la 33ma parte di quello che produrrebbe lo stesso effetto sull' acqua. Frattanto quest' ultima conseguenza parte da una tacita supposizione, che però non è esattissima, che la porzione di calorico ricevuta da un corpo, la temperatura del quale si eleva un grado, sia costantemente la stessa, qualunque sia il posto che questo grado occupi sulla scala termometrica.

196. Sono state chiamate col nome di *calorico specifico* quelle quantità di calorico capaci di produrre nei corpi di egual massa eguali elevazioni di temperatura, prendendo per termine di paragone un grado del termometro. Queste quantità dipendono dalla capacità di calorico dei diversi corpi, talmentechè si potrebbe dire che, relativamente a questa capacità, sono quasi come le gravità specifiche relativamente ai pesi.

197. Da ciò segue che le quantità di questo calorico son composte della porzione che opera come calorico sensibile, e di quella che fa le veci di calorico latente: ma l'esperienza non separa queste due porzioni

l'una dall'altra, e quindi quando si definisce il calorico specifico quello che serve ad elevare la temperatura dei corpi di un certo numero di gradi, in questa definizione devesi intendere quella porzione soltanto che produce la dilatazione, poichè questo effetto è una condizione collegata con l'elevazione di temperatura.

Nell'esempio citato di sopra, se si rappresenta con l'unità la quantità di calorico capace a far salire di un grado la temperatura dell'acqua comune, si avrà per la quantità di calorico corrispondente, relativamente al mercurio, 0,0303, e in tal modo potremo determinare in unità e in parti dell'unità i calorici specifici dei diversi corpi, riferendoli a quello dell'acqua, la quale servirà qui di misura comune come nel paragone delle densità.

Del calorimetro.

198. Il metodo di Grawford e di molti altri fisici per conoscere il calorico specifico relativamente a diverse sostanze, era simile a quello di cui abbiamo parlato (§. 195.), prendendo l'acqua e il mercurio per soggetti di comparazione: essi tenevano conto ancora del calorico specifico particolare del vaso di cui si servivano, riducendo poi l'effetto all'ipotesi in cui fosse nulla l'influenza di esso: ma sarebbe stato necessario tener conto altresì del calorico assorbito dall'aria e dagli altri corpi circonvicini; ed era per l'altra parte difficile l'assicurarsi sempre se tutte le parti della mescolanza avevano la stessa temperatura. Questi inconvenienti spariscono nel calorimetro immaginato da Lavoisier e Laplace, il quale strumento unisce al merito della precisione, quello di esser solo applicabile ai casi in cui le sostanze esercitano un'azione chimica le une sull'altre.

199. L'uso di questo strumento è fondato sopra un'osservazione che qui indicheremo soltanto, e che svilupperemo poi a suo tempo. Se si mescola una massa d'acqua riscaldata sino a 60° di Réaumur con una massa eguale di ghiaccio, dopo la fusione del ghiaccio la totalità si troverà alla temperatura di zero, cioè a quella che aveva il ghiaccio prima dell'esperienza. In questo caso la quantità di calorico che elevava la temperatura dell'acqua liquida, e di cui il ghiaccio si è imbevuto nel fondersi, è talmente nascosta che non ha più veruna azione sul termometro.

Dunque questa stessa quantità di calorico necessaria per fondere, per esempio, un chilogrammo di ghiaccio, è la misura di quella che sarebbe capace di elevare la temperatura di un chilogrammo d'acqua dallo zero fino a 60°: dunque se un chilogrammo di un'altra sostanza

fonde solamente un mezzo chilogrammo di ghiaccio, passando dalla temperatura di 60° a quella di zero, concluderemo che il suo calorico specifico sta a quello dell'acqua come $\frac{1}{2}$ ossia 0, 5 sta all'unità: e se non ne fonde che un quarto di chilogrammo, il rapporto sarà di 0,25 a 1: così in questo caso l'unità rappresenterà la quantità di calorico che, relativamente ad un chilogrammo d'acqua, corrisponde all'intervallo fra 0 e +60°.

200. Ciò premesso, se la quantità di ghiaccio fusa da un corpo qualunque nel raffreddarsi fino a zero, si divida per il prodotto della massa del corpo riferita al chilogrammo, e del numero di gradi a cui si elevava la temperatura primitiva, si avrà la quantità di ghiaccio che un chilogrammo del medesimo corpo è capace di fondere, abbassandosi di un semplice grado di temperatura: moltiplicando quindi per 60 ciò che ne resulta, si avrà la quantità di ghiaccio che sarebbe stata fusa, se la temperatura fosse scesa da 60° allo zero; e così si avrà nel tempo stesso il calorico specifico del corpo relativamente a quello dell'acqua, presa per unità.

Lo strumento è una specie di gabbia, l'interno della quale è diviso in 3 cavità contenute l'una nell'altra. La cavità interna, ossia la più vicina al centro, è formata di una graticola di ferro sul quale, è situato il corpo di cui vuol conoscersi il calorico specifico; la seguente, ossia la cavità media è destinata a contenere ghiaccio pesto che deve circondare la cavità interna, e venir fuso dal calore del corpo sottoposto all'esperienza; la terza o la cavità esterna, contiene un' altra quantità di ghiaccio che serve ad impedire l'accesso al calore dell'aria e dei corpi circonvicini. Quando si principia l'esperienza, la temperatura del ghiaccio deve essere a zero; e sarà utile che la temperatura della stanza non sia sotto lu zero. La quantità d'acqua prodotta dalla fusione del ghiaccio contenuto nella cavità media, sgorga per mezzo di una chiave in un vaso situato sotto la macchina; ed è certo che quest'acqua proviene unicamente dal calore perduto dal corpo sottoposto all'esperienza, poichè il ghiaccio che è nell'istessa cavità è difeso dal ghiaccio che lo circonda, dall'impressione di qualunque calore estraneo; poichè l'aria e i corpi vicini non possono avere verun'azione se non che sullo strato di ghiaccio situato all'esterno, e l'acqua che in questo caso è prodotta dell'azione di quelli, sgorga per un tubo che la riceve separatamente,

201. Rendiamo sensibile con un esempio la maniera di sottoporre al calcolo ciò che si rileva dall'osservazione. Supponiamo che un corpo che pesi 7*chil.*, 7, riscaldato a 78° sopra lo zero, abbia fuso 1*chil.*, 1 di ghiaccio, passando alla temperatura di zero: se si divida 1, 1 per il prodotto

di 7, 7 e di 78, si avrà 0,*chil.*0018, quantità di ghiaccio che 1*chil.* del medesimo corpo sarebbe capace di fondere, raffreddandosi di un grado; e moltiplicando questo numero per 60, avremo 0,1080, calore specifico del corpo relativamente a quello dell'acqua. Se il corpo su cui si fa l'esperienza è liquido esso pure, si collocherà in un vaso di cui prima sia stato conosciuto il calorico specifico, si sottrarrà dalla quantità di ghiaccio fuso la porzione che il vaso ha dovuto produrre, lo che darà la quantità ottenuta per mezzo del raffreddamento del liquido; e in quanto al resto l'operazione sarà la stessa che per i corpi solidi.

4. DEGLI EFFETTI DEL CALORICO PER PRODURRE NEI CORPI UN CAMBIAMENTO DI STATO.

202. Le molecole di un corpo che supponiamo allo stato di solidità obbediscono alla forza d'affinità, la quale produce la scambievole adesione di esse. Ma questa adesione è più o meno indebolita dalla forza elastica del calorico interposto fra le molecole e che tende ad allontanarle l'une dall'altre: così esse sono continuamente mosse da due forze contrarie eguali, e però nulle nella loro azione: a queste due forze se ne aggiunge una terza, cioè la pressione dei fluidi circostanti la quale si oppone all'effetto del calorico per slontanare le molecole; ma l'influenza di questa ultima forza non è sensibile se non in certe circostanze di cui parleremo fra poco.

203. Finchè la forza elastica del calorico slontana così poco le molecole di un corpo, che la distanza di quelle è molto minore del raggio della sfera loro sensibile di attività (§. 73.), la porzione di affinità che non è stata distrutta conserva il corpo nello stato di solidità. Per meglio comprendere questo effetto, figuriamoci che un corpo solido riceva ad un tratto una certa quantità di calorico, la porzione del quale destinata a produrre la dilatazione, sia molto minore di quella che sarebbe necessaria per slontanare le molecole alla distanza misurata dal raggio della sfera d'attività sensibile. Finchè dura l'aumento di volume, l'elasticità del calorico e l'affinità scemeranno nel tempo stesso, l'una per un effetto simile al rilassamento d'una molla, l'altra per l'aumento della distanza. Ora poichè supponiamo che il corpo non riceva verun'altra quantità di calorico, la dilatazione avrà un termine, ed è chiaro che a questo termine, la forza elastica del calorico e la forza di affinità si troveranno in equilibrio: e poichè la prima nel tempo della dilatazione era superiore, ne segue che essa è scemata in un rapporto maggiore dell'affinità. Dunque se a questo medesimo termine in cui il corpo è sempre in stato solido, una potenza qualunque tendesse a separare un poco più le mole-

cole, troverebbe per parte dell'affinità una resistenza che non sarebbe equilibrata dell'elasticità del calorico, perchè questa perderebbe più dell'affinità: quindi ne segue che un corpo deve restare in stato solido, finchè l'accumulazione del calorico che lo dilata non eccede un certo limite. Bisogna inoltre che lo scemamento della forza del calorico segua in questo caso una legge molto più rapida di quella della forza d'affinità, poichè ordinariamente non si può vincere l'adesione scambievole delle molecole d'un corpo solido, se non con uno sforzo più o meno considerevole.

Così a misura che un corpo solido riceve quantità addizionali di calorico, passa per diversi gradi di dilatazione, ciascun dei quali è egualmente relativo a un equilibrio, che non può rompersi fino al segno di effettuare la divisione di questo corpo, se non con una forza tanto superiore alla tendenza dell'affinità, da opporsi allo slontanamento delle molecole (*a*).

Conversione dei solidi in liquidi.

204. In tutto ciò che abbiamo detto fin qui si suppone che gli aumenti di calorico ricevuti da un corpo solido non eccedano un certo limite: ma quando questo fluido si è accumulato a tal segno da opporsi con sufficiente vantaggio alla forza d'affinità, talmentechè le molecole del corpo possano muoversi liberamente per tutti i versi, e cedere alla più leggiera impressione, allora questo corpo divien liquido.

Per meglio comprendere questo passaggio allo stato liquido bisogna osservare che le molecole dei corpi hanno certe facce per le quali, quando non vi si oppone veruno ostacolo, si attraggono a preferenza di qualunque altra, e che si chiamano *facce* o *lati della maggior affinità*.

Finchè le molecole formano un corpo solido tengon voltate queste facce le une verso le altre, e la forza d'adesione che le collega fra loro dipende in parte da questa particolare disposizione. Ma quando l'azione del calorico è giunta ad un certo grado d'aumento e di energia, allora questa disposizione è alterata, e le molecole allora presentandosi le une alle altre in situazioni meno favorevoli all'affinità, nell'azione di questa forza ne resulta una diminuzione, che unita all'elasticità del calorico contribuisce a quella gran mobilità, che acquistano le molecole quando la riunione di esse prende la forma di liquido.

(*a*) Qui si vede in qual senso debba intendersi ciò che ha detto Lavoisier, che un corpo dilatato dalla forza del calorico resta solido finchè l'affinità è vincitrice.

205. Qui si osserva un fenomeno singolare, cioè l'azione del calorico sensibile si arresta ad un tratto, e non sussiste se non quella del calorico latente; quindi le nuove quantità di calorico, che sopraggiungono dopo il momento in cui è principiata la liquefazione, non fanno che favorirne il progresso, e son nulle per elevare la temperatura del corpo che le riceve; sicchè un termometro posto, per esempio, nel ghiaccio che comincia a sciogliersi in acqua, resta stazionario al grado di zero, finchè questo ghiaccio non sia fuso interamente.

206. Questo riposo del termometro in mezzo ad un'affluenza continua di calorico aveva fermata da lungo tempo l'attenzione degli osservatori; e questo caso particolare, unito ad un altro di cui parleremo fra poco, aveva suggerita l'idea del *calore latente* che in seguito ha ricevuto una grande estensione da che sono stati meglio analizzati i fenomeni.

Conversione dei liquidi in fluidi elastici.

207. Proseguiamo a prender l'acqua per esempio, perchè le circostanze della nuova trasformazione che ci resta da descrivere si manifestano ben distinte relativamente a questo fluido. Qualunque sia la temperatura di esso, la forza elastica del calorico interposto fra le sue molecole è tanto superiore alla reciproca affinità delle medesime, che tende ad allontanarle sempre più, e la porzione dello stesso fluido che esercita la sua azione sulle molecole situate presso la superficie, fa uno sforzo per distaccarle da essa, sforzo il quale trova una resistenza per parte dell'aria circostante, la quale esercita la sua pressione sulla superficie dell'acqua. Ma questa resistenza non fa che impedire in certo modo la forza elastica del calorico e rallentarne gli effetti: poichè in mezzo alle piccole agitazioni che vengono eccitate nell'aria e nell'acqua stessa, accade che un certo numero di molecole acquee, combinandosi con le situazioni che corrispondono ai moltissimi interstizii dell'aria, staccandosi dalla superficie dell'acqua si introducono in quelli: son quindi seguite nel momento da altre molecole, di maniera che tutte quelle che hanno potuto penetrare nell'aria, essendovi trattenute a una certa distanza le une dalle altre da quelle del calorico distribuito fra loro, prendono esse pure la forma di fluido elastico. In tal caso si dice che queste molecole si son convertite in *vapori*, e questo passaggio a un nuovo stato si chiama *evaporazione*. In seguito esamineremo più particolarmente gli effetti della presenza dell'aria su questo fenomeno, e varie altre circostanze che ci serviranno a svilupparne la teoria.

L'evaporazione diviene tanto più abbondante, quanto maggiore

è la quantità di calorico che l'acqua riceve; e quando l'elevazione della temperatura ha fatto crescere la forza elastica del calorico fino a un certo punto, l'ostacolo che l'aria circostante opponeva alla dilatazione dell'acqua essendo superato assolutamente, l'azione del calorico per produrre l'evaporazione, sotto la pressione naturale dell'atmosfera, è arrivata al massimo grado.

208. Comparisce qui nuovamente il fenomeno osservato nella conversione del ghiaccio in acqua liquida, cioè si vede che fintanto che l'acqua prosegue a passare allo stato elastico, le nuove quantità di calorico che sopraggiungono, non fanno che accelerare il progresso dell'evaporazione, e passano allo stato di calorico latente senza punto influire sulla temperatura; quindi è che un termometro posto o nel liquido che somministra il vapore, o nel vapore stesso, indica costantemente 80° di R. o 100° del termometro centigrado, sotto una pressione media dell'atmosfera

209. Il momento in cui l'evaporazione giunge a questo grado che fissa la temperatura, viene annunziato dall'ebullizione del liquido, la quale è preceduta da una quantità di piccole bolle che partono dal fondo del vaso, e si succedono rapidamente a traverso del liquido. In principio esse crepano a una certa altezza, e producono una specie di fremito che ognuno conosce; le susseguenti si elevano maggiormente prima di sparire; altre finalmente arrivano alla superficie, e allora nuove bolle, molto più voluminose delle prime, si formano in tutta la massa del liquido, nella quale eccitano una grande agitazione. Secondo le osservazioni del celebre Deluc, tutte queste bolle vengon prodotte dallo sprigionamento delle molecole d'aria naturalmente contenute nel liquido (*a*). Questo sprigionamento rapido di vapore che accade nel momento dell'ebullizione, è stato chiamato col nome particolare di *evaporizzazione*; e poichè in questo caso è vinta totalmente la pressione dell'atmosfera, con questo nome è stata chiamata qualunque formazione di vapore che accada in uno spazio voto di aria.

Ritorno allo stato liquido e allo stato solido.

210. Figuriamoci che l'acqua, seguendo un ordine inverso a quello che abbiamo considerato fin qui, ritorni dallo stato elastico allo stato liquido, e da questo allo stato solido. Fintanto che essa non divenga nuovamente liquida, il calorico che aveva assorbito nell'evaporare, e che riteneva quasi celato sotto la forma di calorico latente, ricomparirà

(*a*) *Introduction à la Physique terrestre*, t. I, p. 426.

tutto sotto la forma di calorico sensibile, e si comunicherà ai corpi circonvicini, di maniera che un termometro immerso in quest'acqua resterà pur fisso a 80°, supponendo che la pressione sia la stessa.

Perchè l'acqua partendo da questo termine torni allo stato solido, bisognerà primieramente che perda nel raffreddarsi tutti quegli aumenti di calorico, che avevan fatto variare la sua temperatura e il suo volume, fin dal momento del suo passaggio allo stato liquido. In tempo della congelazione che quindi succederà, si sprigionerà tutta la quantità di calorico, che l'acqua escendo da questo stato aveva assorbito, e che non aveva prodotto verun effetto sul termometro, e passerà nei corpi circonvicini; talmentechè un termometro immerso in quest'acqua resterà pure stazionario al grado zero.

211. Abbiamo già citata (§. 188) un'esperienza, nella quale mescolando un chilogrammo, o sia due libbre di ghiaccio, con un chilogrammo d'acqua a 60°, resultavano due chilogrammi d'acqua a zero, cioè il ghiaccio nel fondersi assorbiva e rendeva nulla per il termometro una quantità di calorico misurata da 60°, tolta da esso all'acqua calda con cui era a contatto. Ora se si supponga che l'acqua passi di nuovo allo stato di ghiaccio, porrà nuovamente in attività un'egual quantità di calorico, che si spargerà nell'apparecchio e nei corpi circonvicini.

212. Ciò che abbiamo detto dell'acqua, si applica egualmente a tutti gli altri corpi, poichè passando essi a un nuovo stato, producono l'assorbimento di una quantità di calorico che perde la sua azione sul termometro, andando dallo stato solido al liquido, e da questo allo stato di fluido elastico; e se questo passaggio si fa in senso contrario, ne resulta lo sprigionamento della stessa quantità di calorico che il corpo aveva assorbito nell'escire dallo stato in cui ritorna. In generale tutte le variazioni prodotte per effetto del calorico, per una successione di stati per i quali può passare un corpo, compariscono nuovamente in un ordine inverso, quando gli stati medesimi si succedono in un ordine inverso.

La stessa inversione si osserva proporzionatamente in tutta la gradazione delle varietà sotto cui si mostra un corpo passando da uno stato ad un altro: tutte le piccole quantità di calorico che erano divenute latenti fra due variazioni prossime, tornano ad esser sensibili, quelle che erano sensibili tornano ad esser latenti, secondo che il limite a cui si avvicina un corpo, nel passare per queste varietà, è situato da una parte o dall'altra.

Diversità d'opinioni sul calorico latente.

213 Il calorico latente è stato riguardato sotto due aspetti diversi. Secondo l'opinione di molti fisici: esso si fissa nel corpo che cambia di stato o si dilata, e questo effetto è analogo a ciò che accade nella cristallizzazione d'un sale, che si appropria una porzione del dissolvente, sicchè questa combinata col cristallo perde ogni sua apparenza; e non conserva nessun carattere di sostanza umida. L'altra opinione è relativa all'idea che i fisici i quali l'hanno emessa avevan concepita della capacità di calorico. Essi facevano dipender questa da una certa forza che i corpi esercitavano per ritenere e imprigionare in certo modo il calorico che contenevano, forza che era tanto più energica quanto era più considerevole la quantità di calorico; e questa capacità si trovava effettivamente aumentata in un corpo che era passato dallo stato solido allo stato liquido, o da questo allo stato di gas o di vapore. Ne resultava dunque che l'acqua liquida per esempio, esercitando una forza maggiore su ciascuna molecola di calorico per trattenerlo, questa perdeva una parte della sua tensione, di maniera che il ghiaccio nel fondersi aveva bisogno di ricevere un aumento di calorico addizionale affinchè restasse la stessa la tensione totale del fluido, e acciò non accadesse alcuna variazione nella temperatura. Quindi ne seguiva, secondo la citata opinione, che il ghiaccio che si scioglieva in acqua, assorbiva una quantità di calorico misurata da 60°, e che formava come il complemento di quella che richiedeva il nuovo stato del corpo.

La stessa considerazione veniva applicata a un corpo che si dilata, conservando la sua temperatura. Così una massa d'aria che si metteva in libertà di estendersi in uno spazio più vasto, toglieva ai corpi circonvicini l'avanzo del calorico destinato a compensare la perdita che faceva la quantità primitiva della sua tensione, a misura che l'aria cresceva in volume.

214. Questa opinione non è molto diversa da quella che noi abbiamo adottata; ma la nostra presenta i fenomeni sotto un punto di vista più chiaro, distinguendo due azioni del calorico, l'una delle quali perde la sua influenza sul termometro, appunto perchè produce ora un cambiamento di stato, ora una dilatazione, sicchè l'altra azione da cui dipende la temperatura non può restare la stessa, se non in quanto la prima riceve per altra parte una quantità proporzionata al suo consumo.

Digitized by Google

Differenze fra i fluidi elastici.

215. I fluidi elastici, che i Fisici moderni chiamano ancora semplicemente *fluidi*, sono stati distribuiti in due ordini. Il primo abbraccia quelli che conservano la propria elasticità sotto le maggiori pressioni, e al massimo grado di raffreddamento a cui possiamo ridurli, dacchè, nello stato presente delle nostre cognizioni, nè l'uno nè l'altro di questi mezzi è capace di ravvicinare le molecole loro a una distanza minore del raggio della loro sfera di attività sensibile. Queste molecole, o piuttosto quelle del calorico interposte fra esse, sono come altrettante piccole molle che si tendono, quando una causa qualunque fa ristringere una massa di uno di questi fluidi in uno spazio minore di quello che esso occupava, e che quindi si ristabiliscono quando, cessando questa causa, la massa del fluido dilatandosi ritorna a occupare il posto che aveva ceduto. Questi fluidi sono stati chiamati *fluidi aeriformi*, nome preso dall'aria atmosferica, che sembra tenere il primo posto fra essi; e ancora si dicono *fluidi elastici permanenti* o *gas*. Nell'altro ordine son compresi i fluidi elastici che cambiano stato più o meno facilmente, per effetto di compressione o di raffreddamento: tali sono quelli che provengono dall'acqua comune, dall'alcool, dall'etere, ec., per mezzo del calore, e che sono stati chiamati *vapori* o *fluidi elastici non permanenti*.

Considerazioni sui Resultamenti precedenti.

216. Per mezzo della teoria delle azioni che esercita il calorico per cambiare lo stato d'un corpo, vengono riuniti sotto un solo aspetto certi fenomeni che il volgo riguarda e nomina come distinti: tale, per esempio, è per una parte la conversione del ferro solido in ferro liquido, in virtù dell'azione del fuoco, o il suo ritorno al primo stato in virtù del raffreddamento; e dall'altra parte la fusione dell'acqua gelata o il passaggio dell'acqua liquida allo stato di ghiaccio. Questi fenomeni non son differenti fra loro in sostanza, ma solamente per alcune circostanze, e per la maggiore o minor quantità di calorico che li produce; per la qual cosa può dirsi che la liquefazione del ferro per mezzo del calore è lo *scioglimento* del ferro, e che il suo ritorno allo stato di consistenza per mezzo del raffreddamento, è la *congelazione* del ferro. È tanto utile questa osservazione, che per essa il Fisico si avvezza a considerare col pensiero sotto un aspetto stesso varii effetti, che quantunque diversi sono immagine fedele uno dell'altro.

217. I resultamenti dell'azione del calorico per equilibrare l'affinità

delle molecole d'un corpo solido, fino al grado di produrre il passaggio allo stato liquido, e di strascinare finalmente con se le molecole sotto forma di vapori, son limitati dall'osservazione a un certo numero di sostanze: ma essi sono stati evidentemente generalizzati dalla teoria, e quindi è stato concluso che a tutti i corpi della natura son comuni i tre stati di cui abbiamo parlato, e che una gran parte di questi corpi sembrano fissi, solamente perchè non possono acquistare o perdere una quantità di calorico bastante a produrre il loro passaggio da uno stato all' altro. La maggior differenza che possa esistere fra la temperatura dei climi nei quali si provano i più vivi ardori del Sole, e quelli che per l'obliquità dei raggi stessi solari sono esposti ai più rigidi freddi, non produce effetti molto sensibili se non relativamente all'acqua, la quale si conserva costantemente in stato liquido nelle regioni vicine all'equatore, e nei nostri climi non lascia questo stato se non a intervalli; mentre verso i poli, certi diaccioli enormi non possono sottrarsi alla causa che gli ha resi sì duri, se non venendo, quasi altrettante enormi masse galleggianti, a fondersi nei mari delle regioni temperate.

218. Il potere dell'arte ha superato quello della natura; e vedremo in fatti, parlando dell'acqua, fino a qual grado di azione è stato portato un freddo artificiale al di là del termine che corrisponde alla congelazione di questo liquido: ma la maggior parte dei passaggi a un nuovo stato, sono effetti dell'azione del calore. Concentrando l'azione dei raggi solari nel fuoco d'uno specchio ustorio, è stato possibile fondere alcuni corpi che avevan resistito a tutta l'attività del fuoco dei nostri fornelli, e volatilizzare l'oro e molti altri metalli.

Pareva che questo fosse l'ultimo sforzo dell'arte per accrescere l'intensità dell'azione del calorico; ma la chimica moderna l'ha resa ancor più intensa, sostituendo al fuoco celeste un fuoco ordinario, al quale vien somministrata l'aria vitale, che è il suo alimento, nello stato di purità; e per mezzo della fiamma fomentata da una corrente di questo gas, sono stati volatilizzati più facilmente che col fuoco d'una lente alcuni metalli, che, come il rame, erano stati solamente ossidati con questo mezzo. Molte pietre ancora che non potevano sciogliersi con verun mezzo, sono state fuse da questa fiamma, e altre, come il quarzo e una parte delle pietre gemme, hanno preso un certo grado di mollezza.

219. Frattanto siamo ancora molto lontani dal poter verificare, relativamente a ciascuna sostanza, questi tre stati di solido, liquido e fluido, solamente per mezzo della mancanza o dell'aumento di calorico. Ma quando l'affinità unisce a questi mezzi la sua energica azione, produce pure certi cambiamenti di stato relativamente ad alcuni esseri che

non l'avrebbero mai cambiato se restavano soli, ossia che essa colleghi un fluido elastico in una combinazione che ha per termine lo stato di solidità, ossia che essa associi un solido a un fluido elastico, che lo trasporta con se sotto una forma simile. Così l'ossigene, le molecole del quale non potrebbero mai unirsi per veruna forza di freddo, e neppure passare allo stato liquido, si fissa unendosi ai ferri e a varii metalli; e il carbonio che dal solo calorico non potrebbe mai esser ridotto in stato liquido, acquista la proprietà elastica combinandosi con l'ossigene per produrre l'acido carbonico.

Spiegazione di varii Fenomeni particolari.

Fra i fenomeni che ci hanno servito per sviluppare la precedente teoria, ve ne è uno, cioè il passaggio dei corpi dallo stato liquido allo stato di fluido elastico, o reciprocamente, il quale può considerarsi in qualche altro aspetto, che non abbiamo considerato fin qui per non rompere il filo dell'idee.

220. Abbiamo veduto che l'effetto del calorico per convertire un liquido in fluido elastico, è equilibrato in parte dalla pressione dell'atmosfera, di maniera che il liquido non entra in assoluta ebullizione, e non divien costante la sua temperatura, prima che sia vinto interamente l'ostacolo che resulta da questa pressione (§. 207). Quindi se dopo aver posto sotto un recipiente il vaso che contiene il liquido, si scemi la pressione con sopprimere una parte dell'aria per mezzo della macchina pneumatica, l'ebullizione del liquido e l'uniformità di temperatura corrisponderanno a un grado più basso, che quando il liquido era esposto all'aria libera, e questo grado diverrà tanto più basso, quanto più il voto sarà perfetto; e il celebre Prony ha provato con l'esperienza, che può farsi il voto in modo da far passar l'acqua al massimo grado dello stato elastico, con una temperatura che si eleva appena sopra lo zero, mentre questo liquido, per arrivare a questo stato, sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, ha bisogno di un calore di 80° di Réaumur, come già dicemmo (§. 208). In conseguenza dello stesso principio, se portiamo sopra un'alta montagna un vaso pieno d'acqua tiepida, divenendo tanto più corta la colonna dell'aria quanto più andiamo in alto, lo scemamento della pressione che ne è la conseguenza, può esser capace di produrre l'ebullizione del liquido.

221. Se al contrario si supponga una pressione maggiore in vece della pressione media dell'atmosfera, le nuove quantità di calorico che si introdurranno nell'acqua già arrivata alla temperatura di 80°, continueranno a riscaldarla finchè la forza elastica del calorico diventi capace

di superar l'ostacolo che le si oppone; e in questo stato, che nel caso presente è quello dell'ebullizione, la temperatura si fisserà al grado a cui è arrivata nell'elevarsi sopra quello a cui sarebbe giunta sotto l'ordinaria pressione.

222. In conseguenza delle stesse circostanze, quando l'acqua che evapora è chiusa in un vaso che non lascia alcun esito al vapore, questo si accumula nella parte superiore del vaso, ed esercita sull'acqua tuttora liquida una tal pressione, che in fine si oppone all'effetto della forza elastica del calorico che dovrebbe produrre l'ebullizione; di maniera che il calorico si accumula esso pure tanto nel liquido quanto nel vapore stesso, e la temperatura prosegue a salire molto sopra 80°.

223. Su questo principio è stata costruita la *pignatta di Papin*, macchina ormai sì nota, e della quale l'inventore pubblicò una descrizione a Parigi nel 1682, col titolo di *macchina per ammollire le ossa col fine di ritrarne brodo*. Il coperchio di questa macchina era fissato con una forte vite di pressione, e tutto era disposto in modo da impedire il minimo passaggio al vapore. È tanto il calore che vien prodotto in questo caso, che l'acqua diventa capace non solo di sciogliere l'ossa, e di estrarne la gelatina, ma ancora di fondere il piombo e perfino il rame, come è stato osservato da più Fisici.

224. Perchè l'acqua quando è giunta al termine dell'ebullizione si mantenga alla stessa temperatura, bisogna che riceva dall'esterno una nuova quantità di calorico eguale a quella che è divenuta latente; e se cessi questo aumento di calorico, continuerà pure l'evaporazione, ma in progressione sempre decrescente; e poichè in tal caso il vapore prende dall'acqua stessa che è sotto di lui la quantità di calorico necessaria alla sua formazione, questa circostanza fa abbassare continuamente la temperatura del liquido.

Lo stesso effetto si osserva in proporzione in tutte le masse d'acqua sottoposte all'evaporazione per mezzo della temperatura ordinaria dell'atmosfera. La formazione del vapore nello svolgersi dall'acqua, produce in essa un qualche raffreddamento, che si comunica ancora ai corpi circonvicini, ai quali il liquido toglie una porzione di calorico per riparare le sue perdite.

Tutto questo può servire a spiegare molti effetti notissimi.

225. Per esempio se si avvolga in un pannolino la palla d'un termometro, e si bagni questo panno con etere, agitando quindi il termometro nell'aria, per rinnovare i punti di comunicazione con questo fluido, e facilitare l'evaporazione, si vede scender notabilmente il liquido nel termometro: si spiega egualmente la sensazione di freddo che proviamo nell'evaporazione di una goccia di liquido spiritoso versato sulla mano;

e nello stesso modo si spiega pure un fatto che presenta una specie di paradosso, e che accade quando all'apparire dei primi raggi del sole, cioè quando il calore comincia di nuovo a farsi sentire, il termometro per un momento si abbassa, lo che accade perchè esso cede una porzione del suo calorico alla rugiada di cui è coperto, la quale svapora in virtù dell'azione del Sole.

226. Su questo medesimo principio è fondato un mezzo semplicissimo, che si usa in molti paesi per procurarsi acqua fresca nell'estate, facendo servire all'abbassamento di temperatura del liquido il calore stesso che regna allora nell'atmosfera. Si versa l'acqua in vasi di terra di collo stretto, formati di una materia preparata in modo che resta porosissima, dopo essere stata sottoposta a una leggiera cottura, e si pongono quindi questi vasi in un luogo in cui l'aria venga rinnovata continuamente per quanto è possibile. L'acqua che stilla a traverso dei pori del vaso, evapora arrivando alla superficie; nuova acqua succede alle prime stille già evaporate, e perchè la quantità di calorico che emerge così continuamente per mezzo dell'evaporazione, non è compensata da quella che giunge dal di fuori, l'acqua diventa in breve tempo così fresca da essere una bevanda piacevole (*a*).

Congelazione dell'acqua prodotta da una evaporazione accelerata.

227. Nell'articolo precedente abbiamo esposta la causa del raffreddamento che prova l'acqua posta sotto un recipiente della macchina pneumatica, mentre si rarefà l'aria che preme sulla superficie del liquido. Ordinariamente si giudica della quantità di questo raffreddamento dall'abbassamento, che nel tempo stesso accade del liquido d'un termometro immerso in quest'acqua. Leslie ha immaginata un'altra esperienza molto più bella, in cui l'effetto dell'abbassamento di temperatura dell'acqua si annunzia da per se all'occhio, per mezzo della congelazione di essa; e questo fisico ha potuto ottener questo effetto, traendo partito dalla rapidità con cui l'acido solforico concentrato assorbisce il vapore dell'acqua di cui è avidissimo. Per far questa esperienza si prendono due piccole tazze, una di vetro l'altra di ottone, poste sopra un sostegno l'una sopra l'altra in modo, che resti fra l'una e l'altra uno spazio libero: quella di vetro si empie di acido solforico, e quella di ottone di acqua, e quindi si pongono nel modo indicato sotto il recipiente d'una macchina pneumatica. Nel fare il voto, il vapore che si svolge dall'acqua è assorbito immediatamente

(*a*) *De-Luc, Introduction à la Physique terrestre*; T. I, p. 382.

dall'acido, e rinnovandosi continuamente questo effetto, l'acqua in pochi momenti passa allo stato di ghiaccio.

5. DEGLI EFFETTI DELLA COMPRESSIONE E DELLA DILATAZIONE SUL CALORICO CONTENUTO NEI CORPI.

228. Fin qui abbiamo considerate le variazioni di volume dei corpi, come dipendenti dall'accumulazione del calorico nell'interno di essi o dal suo sprigionamento, sicchè noi dovevamo considerare due effetti insieme, cioè la dilatazione e l'elevazione di temperatura per una parte, e dall'altra la contrazione e il raffreddamento; e la teoria di questi effetti ci ha condotti a decomporre col pensiero l'azione del calorico in due azioni distinte, ossia a suddividere il calorico stesso in due parti destinate a produrre i due effetti citati.

Passiamo ora a sviluppare alcuni fenomeni che si limitano soltanto a certi corpi e a certe circostanze particolari, nelle quali ha parte soltanto la porzione di calorico che produce la dilatazione, oppur quella da cui deriva la contrazione, sicchè al termine dell'uno o dell'altro effetto la temperatura si trova la stessa di prima. Esaminiamo primieramente ciò che accade in questa specie di casi a un fluido elastico come l'aria.

229. Supponiamo un termometro posto sotto un recipiente in mezzo ad una massa d'aria, in modo che l'apparecchio e tutti i corpi circonvicini sieno in equilibrio di temperatura con essa. Se l'aria venga dilatata, il termometro subito si abbassa; e se al contrario l'aria venga compressa, il termometro si alza. Nel primo caso l'aria avendo bisogno di impiegare per la sua dilatazione una quantità di calorico, la quale per questa ragione appunto diverrà latente, toglie immediatamente al termometro e all'apparecchio una porzione di quello che essi contengono: ma ben presto il calorico che giunge dai corpi circonvicini, nei quali non è più in equilibrio con quello dell'aria contenuta nel recipiente, riduce e questa aria e il termometro alla primitiva temperatura, dimanierachè il liquido dello strumento che in principio era sceso ad un tratto, risale al medesimo grado. Nel secondo caso, l'aria mentre vien compressa, sviluppa una parte del suo calorico latente eguale a quella di cui in seguito avrebbe bisogno per prender di nuovo, nel dilatarsi, il suo volume primitivo, e cede questo calorico al termometro e all'apparecchio: ma dopo la compressione, comunicandosi sempre più da vicino ai corpi circostanti il calorico che era stato abbandonato dall'aria, viene a ristabilirsi l'uniformità di temperatura, e il liquido del termometro scende di nuovo al suo primo livello.

230. Ordinariamente le variazioni del termometro che accadono in ambedue i casi non eccedono uno o due gradi: ma però si vede facilmente che il cambiamento che prova l'aria corrisponde a una differenza di temperatura, la quale è ben lungi dall'essere rappresentata dal moto del liquido del termometro; poichè questo strumento dovrebbe riguardarsi come vero termometro, solamente perchè la sua massa è come infinitesima relativamente a quella dell'aria (§. 142.), e perchè dall'altra parte l'aria non potrebbe nè togliere ai corpi circostanti una porzione del loro calorico, nè cederne ad essi una porzione di quello che si sprigionerebbe dal suo interno. Ma la massa del termometro è anzi molto più considerevole di quella dell'aria; e quindi la temperatura di essa, nel dilatarsi, si abbassa meno di quello che si abbasserebbe se non avesse nessuna comunicazione col termometro, perchè questo strumento le restituisce una porzione di calorico, che di sensibile è diventato latente: ma la temperatura dell'aria nel comprimersi si eleva meno di quello che si eleverebbe nel caso, in cui quest'aria fosse indipendente dal termometro, perchè questo le toglie una porzione del calorico che si sprigiona per passare dallo stato latente allo stato sensibile. Così il termometro fa sparire una parte del cambiamento di temperatura che dovrebbe indicare totalmente; e l'indicazione è difettosa ancora, perchè il calorico ceduto dall'apparecchio all'aria che si dilata, esercita su questo strumento un'influenza estranea, la quale si oppone all'abbassamento del liquido, o perchè l'influenza del calorico tolto dall'apparecchio stesso all'aria compressa è nullo per il termometro, il liquido del quale, per questa ragione appunto, resta al di sopra della sua vera altezza (14).

(14) Il Cavalier Morosi famoso meccanico, e ben noto nella Repubblica delle Scienze, studiando il modo di trovar mezzi economici nell'uso del combustibile per lo sprigionamento del calorico, e di ottenerlo, se era possibile, in una proporzione utile e applicabile agli usi sociali, traendo partito da questo principio fisico, che la confricazione sviluppa calorico, immaginò nell'anno scorso un'esperienza ingegnosissima, di cui qui indicheremo soltanto i resultamenti generali.

Confricando egli per mezzo del tornio alcuni cilindri metallici, trovò

1.° Che si sviluppa tanto maggior quantità di calorico quanto maggiore è il numero dei punti di contatto fra i corpi confricati.

2.° Che per confricare il maggior numero possibile di punti, bisognava che le parti confricate, oltre ad esser premute, fossero ancora dotate di elasticità.

3.° Che fra i metalli sperimentati da lui, cioè ferro, acciaio, rama, ottone, stagno, piombo, lega di stagno, zinco e bismuto, dal piombo in circostanze eguali si sviluppò la maggior quantità di calorico.

4.° Che la pressione contribuisce più della celerità alla produzione del calorico.

231. Da qualche tempo suol farsi un'esperienza in cui si può tener dietro con l'occhio all'andamento del calorico nella dilatazione dell'aria. Se dopo aver compresso questo fluido in un recipiente di vetro dove è posto un barometro, si apre la chiave destinata a fare escir l'aria, il mercurio del barometro scende rapidamente; e se allora si chiude ad un tratto la chiave, il mercurio sale lentamente fino a una certa altezza alla quale resta stazionario.

Accade questo effetto perchè nel momento in cui si apre la chiave, non potendo l'aria togliere istantaneamente all'apparecchio e ai corpi circonvicini la quantità di calorico necessaria alla sua dilatazione, toglie a se stessa una porzione del suo calorico sensibile; e poichè la sua temperatura si abbassa di un'egual quantità, la diminuzione di elasticità che ne deriva produce un eccesso di abbassamento nella colonna del barometro: ma chiusa la chiave, tornando l'aria alla sua prima temperatura, riacquista una porzione della sua elasticità, lo che fa elevare la colonna di mercurio finchè sia ristabilito l'equilibrio (*a*).

232. Nelle miniere di Schemnitz in Ungheria, è stata in uso per moltissimo tempo una macchina chiamata *a acqua e ad aria*, facendo le veci di una tromba, nella quale invece dello stantuffo si faceva operare l'elasticità d'una massa d'aria compressa da una colonna d'acqua di 40 o 50 metri di altezza Quando si voleva dare un divertimento a chi veniva a visitar le miniere, si apriva una chiave che lasciava escire l'aria compressa, mettendo all'orifizio della chiave stessa il berretto di uno dei lavoratori, e subito la superficie di questo berretto veniva coperta di una specie di ghiaccio bianchissimo, moltissimo compatto, e simile alla grandine (*b*). In tal caso l'aria che esciva rapidamente, portando con se il vapore acquoso di cui si era saturata nell'interno della tromba, provava un altissimo grado di rarefazione. Divenuta per

Per mezzo d'un meccanismo ingegnosamente combinato, potè questo valente Fisico rilevare con precisione la quantità di calorico sviluppato in un dato tempo, con una pressione data, e con una data celerità. Per il pubblico vantaggio resta a desiderarsi, che nuove esperienze di questo genere abbiano un esito migliore di quello che egli ha potuto ottenere nell'applicazione utilissima che aveva tentata, per far bollir l'acqua economicamente nelle caldaie d'un filatoio di seta. V. Bibl. Univ. T. XXI. p. 91.

(*a*) *Baillet*, *Journ. des mines.* n. 76, p. 267.

(*b*) *Baillet*, *Journ. de Physiq.*, *pluviôse* an. VIII. p. 166.

così dire avida di calorico a scapito di tutto ciò che poteva somministrargliene, e specialmente del vapore che era a contatto con le sue molecole, ne toglieva a questo una quantità tanto considerevole, da farlo passare ad un tratto dallo stato di fluido elastico a quello di solido, dimaniera-chè si disponeva in forma di ghiaccio sui primi corpi che l'aria incontrava nello spazio circostante.

233. Un altro fatto curiosissimo prova quanto considerevole è la quantità di calorico, di cui si spoglia l'aria quando ristringe il suo volume Si pone un pezzetto d'esca all'estremità inferiore interna del tubo in una specie di tromba che serve a comprimer l'aria; quindi spingendo con violenza lo stantuffo nella tromba stessa, il calore che si sviluppa per effetto della condensazione dell'aria è tanto attivo da far accendere l'esca E se il fondo di questo corpo di tromba sia mobile, formato di acciaio, al centro del quale sia adattata una lente di vetro per vedere l'interno, si vede sciutillare in mezzo all'aria condensata una traccia di luce viva e brillante (*a*).

234. Si sa che dalla combustione del gas ossigene e del gas idrogene prodotta dalla scintilla elettrica, resulta la composizione dell'acqua. Il celebre Biot annunziò che invece di ottener questo effetto con l'elettricismo, poteva ottenersi con una rapidissima compressione d'aria, per mezzo dello sprigionamento di un'abbondante quantità di calorico, il quale non potendo dissiparsi tutto ad un tratto, eleverebbe la temperatura dei gas a segno da produrre l'infiammazione di essi. Quantunque Biot credesse inutile il verificare direttamente un'asserzione sì strettamente connessa con le più note osservazioni, era nientedimeno sì importante l'esperienza, che dopo averla indicata, nasceva un certo obbligo di eseguirla. Egli si servì di una tromba da fucile ad aria, chiusa nel fondo con un pezzo di ghiaccio densissimo, e avendo introdotto nell'interno di questa tromba una mescolanza dei due gas, dopo un colpo di stantuffo, comparve subito una luce vivissima accompagnata da una violenta detonazione, che era un indizio sicuro della combinazione dei due gas. Questa esperienza richiede alcune precauzioni a scanso del pericolo a cui espone gli sperimentatori (*b*).

(*a*) *Bulletin des Sciences de la Société Philomat.*, *prairial*, an. XII. p. 309.

(*b*) *Magasin encyclopédique, ou Journ. des scienc., des lett. et des arts*, *Avril* 1805, *Germinal* An. XIII, p. 421.

Limiti dei fenomeni relativamente ai liquidi e ai solidi.

235. Poichè i liquidi non sono sensibilmente compressibili, non si ottiene veruno sprigionamento di calorico nè con agitarli, nè col tentare di ristringere in un minore spazio il volume di essi. Tanto la loro contrazione quanto la loro dilatazione fanno parte sempre di un fenomeno composto, il quale è l'effetto di queste due operazioni, combinate con l'elevazione o con l'abbassamento di temperatura.

236. Varie sono le maniere con cui può farsi scemare il volume dei corpi solidi, lo che produce in essi un effetto analogo a quello che nel medesimo caso si osserva nei fluidi elastici. Quando si batte una sbarra di ferro caldo, ciascun colpo di martello ravvicinando le molecole di esso, fa escire certi getti di calorico radiante, che divengon sensibili per l'impression di calore che eccitano all'intorno.

Lo stesso accade proporzionatamente in virtù dell'azione di un torchio, delle filiere, e di ripetute percosse sopra i metalli a freddo, in moltissime operazioni relative alle arti. Spesso ancora si osserva in questi metalli, dopo tale operazione, un calore considerevole, che deriva da quella porzion di calorico, la quale essendosi sprigionata dall'interno, non ha avuto tempo di spargersi nei corpi circostanti, per ristabilire l'equilibrio di temperatura.

Il confricare, che può considerarsi come una specie di battere a freddo, produce calore per un motivo simile, cioè condensando le parti confricate, e facendo sprigionare in tal modo una quantità di calorico. Per indicare questi diversi effetti che si osservano in un corpo, tanto allorchè vien dilatato dal calorico di cui per così dire si imbeve, quanto allorchè una causa che ristringe il suo volume ne spreme il calorico, i corpi sono stati chiamati *spugne di calore*.

Differenza fra l'effetto della compressione e l'effetto del raffreddamento.

237. O si ristringa un corpo per effetto di raffreddamento o per effetto di compressione, nell'uno e nell'altro caso perde una certa quantità del suo calorico, cedendolo ai corpi circonvicini: ma nel primo caso il corpo si spoglia nel tempo stesso di quella porzione del suo calorico, che lo conservava alla temperatura primitiva, e di quella che richiedevano le dimensioni del volume che corrispondeva a questa temperatura; e nel secondo caso questo corpo sviluppa soltanto la porzione relativa alla differenza di volume, dimanierachè resta alla stessa tempe-

ratura di prima. Se dunque due corpi a egual temperatura sieno scemati egualmente di volume, ma uno per effetto di compressione, l'altro per effetto di raffreddamento, il secondo avrà perduta una quantità di calorico maggiore di quella perduta dal primo.

Sieno per esempio due masse eguali d'aria m, m', ambedue a 25° sopra lo zero del termometro centigrado. Se l'aria m si raffreddi fino a zero, il suo volume si troverà scemato di $\frac{1}{11}$ incirca, come si dimostra con una regola che indicheremo in seguito. Se comprimiamo l'aria m', finchè il suo volume sia scemato parimente $\frac{1}{11}$, la sua temperatura non si altera, e resta a 25°: dunque quest'aria ha perduto minor quantità di calorico della prima m che è scesa a zero. Finalmente se comunichiamo all'aria m una quantità di calorico capace a far risalire di 25° la sua temperatura, rendendola così eguale nuovamente a quella di m', e supponiamo nel tempo stesso che una forza qualunque la comprima in modo da ritenerla nello stesso spazio, in tal caso le due masse d'aria saranno in eguali circostanze. Sia t la quantità di calorico comunicata all'aria m, e a la quantità che essa aveva perduto nel raffreddarsi fino a zero: a meno t rappresenterà in questo caso la perdita di a: ma questa perdita è eguale alla perdita di m', dunque m', nel ristringersi di $\frac{1}{11}$, ha perduto meno per effetto di compressione, di quello che abbia perduto m, nel ristringersi egualmente per effetto di raffreddamento.

Se sia d la quantità di calorico perduta da m', d più t sarà la perdita di m. In questa espressione, d rappresenta una perdita, comune alle due masse d'aria, d'una porzion di calorico che era latente, e t una perdita particolare fatta da m d'una porzione del suo calorico sensibile: la quantità d è quella che sprigionandosi ha prodotto la contrazione delle due aria, e la quantità t è quella che nell'escire ha prodotto il raffreddamento di m.

238. I corpi solidi, come i metalli, di cui si ristringe il volume battendoli a freddo, sono nello stesso caso dell'aria m', e in questa operazione perdono soltanto una quantità di calorico rappresentata da d, la quale in certe circostanze è molto considerevole, come abbiamo veduto, ma sempre però inferiore alla quantità d più t che essi perderebbero nel ristringersi in un rapporto eguale per via di raffreddamento. Tutta la differenza che passa fra i metalli e l'aria si è, che i metalli, perchè son duttili, restano naturalmente nello stato in cui sono stati ridotti nell'operazione del batterli; e l'aria non resta in uno stato di contrazione, se non ve la conserva la forza che ve l'ha ridotta. L'affinità che conserva le molecole metalliche nelle loro nuove situazioni, produce un effetto simile a quello della compressione, che distrugge la tendenza

che ha l'aria a prendere di nuovo il suo primo volume in forza della sua elasticità.

6. DELLA LEGGE CON CUI I FLUIDI ELASTICI VARIANO DI VOLUME PER EFFETTO DELLA PRESSIONE.

Le esperienze fatte da Boyle e da Mariotte, nelle quali l'aria atmosferica si prende per causa dei fenomeni, hanno servito a stabilire la legge che ora passiamo a spiegare; e per quanto queste esperienze sieno d'un'epoca assai lontana, devon pur essere il soggetto delle nostre osservazioni, perchè i resultamenti di esse sono come il modello di quelli ottenuti in seguito da molti altri fisici, con esperienze dirette al medesimo fine.

239. Si prende dunque un tubo di vetro ricurvo, di cui il braccio più corto, che deve essere di egual diametro in tutta la sua estensione, ha circa 32 centimetri o 12 pollici di altezza, ed è chiuso ermeticamente alla sua estremità. L'altro braccio che è aperto, deve essere alto almeno 26 decimetri o 8 piedi; e il tutto adattato ad una tavoletta su cui è segnata una divisione adattata ai due tubi. E primieramente si versa un poco di mercurio nella porzione ricurva, per avere una linea di livello, e si conta il numero dei gradi compresi fra questa linea e l'estremità superiore del braccio più corto. In questo stato di cose l'aria che occupa questo braccio, con la sua elasticità fa equilibrio alla pressione della colonna d'aria atmosferica che gravita nell'altro braccio, e la pressione della quale vien trasmessa per mezzo del mercurio contenuto nella curva inferiore; pressione che, come già vedemmo, è eguale a quella d'una colonna di mercurio di circa 76 centimetri o 28 pollici di altezza. Si versa quindi un poco di mercurio nel braccio più lungo, e nel tempo stesso l'aria ristringendosi nell'altro braccio, per l'eccesso di pressione che ne resulta, il mercurio si eleva in questo braccio stesso fino alla formazione dell'equilibrio. In questo caso si misura da una parte la lunghezza di questa colonna d'aria compressa, e dall'altra parte si misura l'eccesso della colonna di mercurio contenuto nel braccio più lungo su quella del braccio più corto. Per maggior semplicità supponiamo che questo eccesso sia di 76 centimetri; in tal caso si trova che la colonna d'aria compressa è ridotta alla metà dell'altezza che aveva prima che vi si introducesse il mercurio. Ma questa colonna è caricata di un peso doppio del primo, perchè una pressione di 76 centimetri di mercurio è stata aggiunta a un'egual pressione esercitata dall'aria atmosferica, e che non si suppone scemata, potendosi trascurare la piccola differenza

che resulta dall'essere ora occupati dal mercurio i 76 centimetri, che terminano inferiormente questa colonna. In generale, se si prende il rapporto fra la prima pressione prodotta dalla colonna dell'atmosfera, e qualunque altra pressione esercitata e da questa colonna e dal mercurio aggiunto, gli spazii corrispondenti occupati dall'aria compressa saranno in ragione inversa delle pressioni; dal che si vede che l'aria si contrae, come abbiamo detto, in ragione dei pesi che la comprimono. Se quindi si ritiri il mercurio a più riprese, l'aria si dilaterà per effetto della sua elasticità, e gli spazii che occuperà successivamente in parte contraria, saranno pure in ragione inversa delle pressioni.

Resultamento di Newton che si applica alla teoria precedente.

Un'idea di Newton relativa agli effetti della compressione dei fluidi elastici, ci illumina maggiormente sulle circostanze che accompagnano i fenomeni di cui abbiamo parlato.

240. Alcune ricerche di cui parleremo in seguito, hanno dimostrato che per una stessa temperatura, l'elasticità di una data quantità d'aria o di qualunque altro fluido elastico è quasi in ragione inversa del volume, cioè se comprimendo l'aria, si riduce per esempio alla metà del suo volume, doppia si troverà la sua elasticità, ossia la pressione che essa potrà esercitare sopra una data superficie.

241. Figuriamoci un volume d'aria contenuta in uno spazio cubico, e supponiamo che esso venga chiuso in un altro cubo, il lato del quale sia la metà del lato del primo. Poichè in questo caso le molecole dell'aria conserverebbero da tutte le parti la stessa disposizione simmetrica di prima, è chiaro che nel secondo cubo, le facce del quale hanno un'estensione 4 volte minore di quelle del primo, esisterà il quadruplo di molecole d'aria distribuite sopra una data parte di ciascuna faccia, e in conseguenza una elasticità quadrupla eserciterà la sua forza su questa medesima parte; e poichè la pressione che è in ragione inversa del volume è divenuta 8 volte maggiore, la forza di ciascuna elasticità sarà divenuta doppia. Dall'altra parte il lato del secondo cubo essendo la metà di quello del primo, ossia la lunghezza di ciascuna fila di molecole d'aria essendo divenuta più corta della metà, della metà pure sarà scemata la distanza fra due molecole vicine, e quindi le tensioni dell'elasticità nei due cubi sono in ragione inversa delle distanze fra le molecole dell'aria. Tale è in somma il resultamento di Newton (*a*).

242. Ma sappiamo che l'elasticità dell'aria dipende dal calorico,

(*a*) *Phylosophiae naturalis, Princip. Matem. Sect. V. prop.* 23, *theor.* 17.

sicchè possiam considerare il calorico come formatore di piccole molle tese fra le molecole dell'aria. Supponiamo ora che le tensioni di queste molle sieno proporzionate alla densità del calorico di cui sono composte, o al numero di molecole di questo fluido che occupano un dato spazio. Se tutto il calorico contenuto nel primo cubo fosse passato nel secondo, la sua densità, e in conseguenza la forza di ciascuna molla, o quella che ciascuna molecola esercita sulle sue vicine, sarebbe divenuta 8 volte maggiore; ma essa è raddoppiata solamente, dunque in questa ipotesi la compressione avrebbe fatto uscire dall'aria i $\frac{6}{8}$ o i $\frac{3}{4}$ del calorico che vi era contenuto. Per verità noi ignoriamo se la densità del calorico varia nella stessa proporzione della forza di elasticità, quantunque ciò sembri molto verisimile; ma almeno apparisce chiaro da quanto abbiamo detto, che in un fluido elastico condensato, la quantità assoluta di calorico è molto minore che prima della condensazione, quantunque il fluido contenga sotto egual volume maggior quantità di calorico, lo che è conforme all'esperienza.

243. Se al contrario si supponga che l'aria si estenda per mezzo di dilatazione in un altro cubo di lato doppio del primo, con un ragionamento simile si proverà, che in una data porzione di superficie del secondo cubo esisterà un numero di molecole d'aria quattro volte minore, e in conseguenza un'elasticità di calorico quattro volte minore egualmente; e poichè la pressione è divenuta 8 volte minore, ogni forza elastica sarà scemata della metà, e nel tempo stesso sarà pure divenuta doppia la distanza fra le molecole vicine, cioè le tensioni elastiche saranno in questo caso ancora in ragione inversa delle distanze fra le molecole dell'aria. Se le tensioni dell'elasticità fossero proporzionate alle densità del calorico, si vede chiaramente che l'aria dilatata in un volume 8 volte maggiore, dovrebbe contenere il quadruplo di calorico, affinchè ogni forza elastica fosse la metà di quella che era in principio, e quindi la quantità di calorico sarebbe tripla della quantità primitiva Ma poichè questa determinazione non è finora che ipotetica, quantunque forse non sia molto lontana dal vero, tutto ciò che dalle cose premesse possiamo concludere con certezza si è, che un fluido elastico dilatato contiene una quantità di calorico molto maggiore che prima della dilatazione, quantunque a volume eguale la quantità sia minore.

7. FENOMENI CHE DIPENDONO DALL'AZIONE DEL CALORICO PER FAR VARIARE IL VOLUME E L'ELASTICITÀ DEL FLUIDO CHE NE È L'AGENTE.

L'argomento che siamo per studiare non farà che presentare sotto una forma diversa il resultamento della legge di Mariotte, facendo intervenire nei fenomeni l'azione del calorico; il qual resultamento è nella classe di quelli che appartengono alle scienze naturali, le quali hanno principiato a svilupparsi per mezzo di semplici cognizioni acquistate nello studiare quei corpi, che presentandosi naturalmente all'osservazione, sembrano porsi come da se stessi in tal situazione da essere interrogati i primi dall'esperienza. In tal modo, sottoponendo l'aria atmosferica all'azione del calore, fu in principio conosciuta la legge con cui opera questo fluido, dilatandosi dentro certi limiti di temperatura, se non che a quell'epoca non era questa che una legge particolare, e come inerente alla Fisica dell'aria: ma da che la chimica è stata arricchita dalla scoperta di molte sostanze invisibili, elastiche, e che nel tempo stesso possono esser compresse al pari dell'aria, i fisici hanno preso a considerare queste nuove specie di aria sotto il medesimo aspetto; e con queste ricerche hanno ottenuto il gran vantaggio, del quale potrebbero egualmente citarsi varii esempii in molti altri generi, cioè di far servire l'uniformità dei resultamenti a provare la generalità delle proprietà da cui essi dipendono; e ha condotto gradatamente la scienza a tal punto di elevatezza, da riunire tutti i fenomeni sotto un solo punto di vista.

244. Il calorico il quale accresce il volume dell'aria a misura che ne eleva la temperatura, se abbia la facoltà di dilatarsi, accresce la forza elastica di essa senza alterarne il volume; cioè l'aria in tal caso esercita uno sforzo maggiore contro l'ostacolo che la trattiene. Ora è chiaro che la nuova pressione che è necessaria per impedire che una massa d'aria riscaldata si dilati, indica quanto l'aria si dilaterebbe effettivamente se proseguisse ad esser sottoposta alla pressione primitiva. Supponiamo per esempio che questa sia eguale alla pressione media dell'atmosfera, che fa equilibrio al peso di una colonna di mercurio di 28 pollici: supponiamo inoltre che l'azione di un nuovo calore accresca l'elasticità dell'aria a tal segno, che per tenerla chiusa nel medesimo spazio sia necessaria una pressione doppia, cioè di 56 pollici o 152 centimetri di mercurio: si concluderà in tal caso, che se l'aria avesse dovuto sostenere la sola pressione di 76 centimetri, il suo volume si troverebbe raddoppiato, quando la sua elasticità scemata dalla dilatazione facesse equilibrio a questa pressione medesima.

Resultamenti di Amontons.

I primi resultamenti relativi a questo soggetto son quelli di Amontons, uno dei fisici che abbia più conosciuto l'arte di mettere in azione la natura col mezzo dell'esperienza, e di farla parlare nel tempo stesso agli occhi ed allo spirito.

245. Ecco il modo con cui egli misurava l'aumento dell'elasticità dell'aria fra due noti limiti di calore. Per il più basso di questi limiti aveva scelto la temperatura moderata che regna in primavera o in autunno, cioè di circa 14° di Rèaumur, e l'altro limite era il grado dell'acqua bollente: e qui dobbiamo osservare che Amontons fu il primo a vedere il fenomeno singolare che si osserva in questo liquido, il quale giunto che sia allo stato di ebullizione, resta alla stessa temperatura, per quanto si continui o si accresca l'attività del calore. Ma a quest'epoca non si conosceva il termine opposto, cioè quello del ghiaccio che si fonde, e in mancanza di questo termine fisso, Amontons aveva adottato la temperatura media fra i diversi gradi di calore e di freddo che proviamo nei nostri climi. Il suo apparecchio consisteva in un tubo di vetro, la parte inferiore del quale era curva e terminava con una palla; il braccio aperto, lungo circa 47 pollici o 127 centimetri, aveva un piccolissimo diametro, mentre quello della palla era proporzionatamente molto più grande. Introduceva egli nel tubo una quantità di mercurio bastante ad empirne la curva, sicchè quando il tubo era situato verticalmente, il mercurio si fermava da una parte nella porzione inferiore della palla, e dall'altra alla medesima altezza nel tubo; e questo livello dipendeva dall'aria contenuta nella palla, la quale restando nello stato naturale, faceva equilibrio con la sua elasticità alla pressione dell'atmosfera.

La primitiva temperatura essendo di 14° R., come abbiamo detto, la temperatura della palla veniva elevata al calore dell'acqua bollente: con ciò l'aria interna della palla acquistava un aumento di elasticità, per cui una porzione del mercurio, sul quale esercitava la sua pressione, passava nel tubo, elevandosi in esso a guisa di colonna. Frattanto l'aria si dilatava per occupare lo spazio abbandonato dal mercurio; ma potendosi trascurare la quantità della sua dilatazione, attesa la gran capacità della palla, si poteva riguardare come non cambiato il suo volume; dimanierachè l'aumento d'elasticità, misurata dalla colonna di mercurio che si alzava sopra il livello, si trovava sensibilmente proporzionata all'aumento di forza elastica dell'aria. Ma sul principio dell'esperienza quest'aria sosteneva la pressione dell'atmosfera, che rappresentava quella d'una colonna di mercurio di 28 pollici, o 758 millimetri di

lunghezza: del resto dacchè l'aria si era riscaldata fino al calore dell'acqua bollente, il mercurio spinto nel tubo vi occupava uno spazio di circa 9 pollici e $\frac{1}{3}$ o 252^{mm}, 6 sopra il livello, cioè la pressione a cui l'aria faceva equilibrio era in questo caso 37 pollici e $\frac{1}{3}$, o 1010^{mm}, 6. Amontons aveva concluso da ciò, che dalla temperatura media fino al grado dell'acqua bollente, l'elasticità dell'aria, tenuta in principio in stato di tensione dalla pressione media dell'atmosfera, cresce un terzo in circa.

Se in vece di lasciare in principio sostenere all'aria della palla la sola pressione media dell'atmosfera, si caricasse inoltre d'una colonna di mercurio lunga per esempio 28 pollici, nel qual caso la pressione sarebbe doppia, e l'aria occuperebbe la metà dello spazio che avrebbe occupato nello stato naturale (§. 240.), l'elasticità di questo fluido crescerebbe sempre nello stesso rapporto per effetto del calore dell'acqua bollente, cioè, nel nostro caso, essendo la pressione primitiva 56 pollici, l'allungamento della colonna sarebbe 18 pollici e $\frac{2}{3}$.

246. Amontons immaginò di applicare quest'ultimo resultamento alla costruzione d'un termometro a aria che fosse paragonabile, e per mezzo del quale si potessero, secondo lui, trasmettere alla posterità le osservazioni che fossero state fatte nei diversi climi, mentre fino a quell'epoca gli strumenti di questo genere non avevano fra loro veruna conformità, e non davano se non indicazioni locali e isolate. Questo termometro aveva molti inconvenienti, a cagione dei quali ne è stato abbandonato l'uso: infatti la temperatura media non dava un limite assai costante; bisognava inoltre, quando si consultava lo strumento, aver riguardo all'altezza del barometro, per far la correzione che richiedeva la variazione della colonna di mercurio o sopra o sotto i 28 pollici; e finalmente un tal termometro era incomodo per la grandezza delle sue dimensioni. Era però il primo che fosse stato eseguito in modo da tendere alla vera perfezione di questo genere di strumenti, ed aveva un termine invariabile di calore, che è stato conservato ancora nei termometri moderni, come vedremo fra poco.

247. Qualunque fosse la massa d'aria che si faceva servire all'esperienze di cui abbiamo parlato, l'elasticità cresceva sempre secondo la stessa legge; e quindi nasceva il principio, che se diverse masse d'aria diseguali, supposte a egual tempertatura, son caricate di pesi eguali, la forza loro di elasticità crescerà pure di gradi eguali di calore, sicchè per conservarle nello stesso spazio, bisognerà accrescere di un'egual quantità i pesi che le comprimono.

Dall'esperienza resultava di più che se masse d'aria eguali eran caricate di pesi diseguali, a un'egual temperatura, la forza elastica di

esse cresceva in proporzione di questi pesi, in virtù di uno stesso aumento di calore: così una massa d'aria, che essendo in principio caricata di 30 pollici di mercurio oltre la pressione primitiva, aveva acquistato un aumento di elasticità misurato da 10 pollici di mercurio, nel passare dalla temperatura media al grado dell'acqua bollente, acquisterebbe un aumento di 20 pollici, quando il carico fosse di 60 pollici, dimanierachè i pesi prementi dovevano essere accresciuti in egual proporzione, affinchè il volume non venisse cambiato.

Resultamenti di Gay-Lussac e di Dalton.

L'instabilità del termine medio che Amontons aveva preso nel corso delle stagioni, rendeva necessariamente incerte le conseguenze che egli deduceva dalle sue osservazioni. Quindi molti fisici si sono occupati nello studiare questo argomento, prendendo per limiti della temperatura il grado del ghiaccio che si fonde, e quello dell'acqua bollente, e la pressione media dell'atmosfera, per quella che doveva esercitare un'azione uniforme sull'aria: ma per la gran diversità che si osserva fra i resultamenti che essi ne ottennero, era da desiderarsi che questo articolo di Fisica fosse più rigorosamente esaminato. Gay-Lussac si propose questo scopo, e con una serie di esperienze eseguite con la massima precisione, è giunto a determinare non solo la dilatazione dell'aria atmosferica fra i due citati limiti, ma quella ancora di varii altri gas solubili e insolubili; e l'uniformità che egli ha trovata nella legge di dilatazione, rende infinitamente più degni d'ammirazione e di fede i suoi resultamenti (*a*).

248. Ma prima di esporli, egli ragiona sui varii mezzi usati fino a quell'epoca per arrivare al medesimo scopo, e osserva che la causa la quale più d'ogni altra ha contribuito a renderli fallaci, è stata la presenza di alcune goccie d'acqua che erano rimaste nell'apparecchio; la qual'acqua nell'evaporare, occupando uno spazio quasi 1800 volte maggiore che nello stato liquido, scacciava una gran parte dell'aria contenuta con essa nel medesimo globo, sicchè si attribuiva all'aria una dilatazione molto maggiore, nella supposizione che essa sola empisse la capacità del globo, in cui la temperatura era arrivata al calore dell'acqua bollente. Gay-Lussac si è servito di mezzi diversi in quanto ai gas insolubili e ai solubili.

249. Ecco intanto il suo metodo relativamente ai primi: si prende

(*a*) *Annal. de Chim.*, *par Guyton*, *Monge*, *Berthollet*, *ec.* n.° 148, p. 157 e seg.

un globo asciuttissimo, nel quale si introduce il gas di cui si vuol determinare la dilatazione; quindi si fa riscaldare il globo fino al calore dell'acqua bollente, e quando la dilatazione ha prodotto il suo effetto totale per far escire una porzione del gas, si fa raffreddare il globo stesso fino al grado del ghiaccio che si fonde, e nel tempo stesso si lascia entrare nel globo una tal porzione d'acqua, quale la permette il gas che vi è restato: sul che si osservi che il gas nei suoi diversi stati deve sempre esser ridotto all'equilibrio con la pressione costante dell'atmosfera. Ciò premesso, il volume d'acqua del globo rappresenta la quantità di cui può dilatarsi il gas che vi resta, dal grado del ghiaccio che si fonde, fino al grado dell'acqua bollente. Primieramente si pesa il globo in questo stato, quindi pieno d'acqua, e finalmente si pesa voto: la differenza di peso fra il globo voto e il globo pieno d'acqua, indica la capacità del globo; e la differenza di peso fra il globo voto, e il globo contenente un volume d'acqua, eguale allo spazio che il gas ha lasciato libero nel ristringersi, indica la misura di questo volume; e con tutto questo è facile trovare il rapporto fra i volumi del gas nelle due estreme temperature.

250. In tal maniera Gay Lussac ha trovato, che l'aria atmosferica si dilata dalla temperatura del ghiaccio che si fonde, fino a quella dell'acqua bollente, in ragione di 110 a 137,5, che è un poco più che 3 a 4; quindi è che la dilatazione fra gli stessi limiti è di $\frac{27,5}{100}$ o $\frac{1}{3,63}$ del volume primitivo; e lo stesso è resultato da simili esperienze sul gas ossigene, sul gas idrogene e sul gas azoto.

251. Per conoscere la dilatazione dei gas solubili, Gay-Lussac si è servito d'un mezzo semplice egualmente che ingegnoso, prendendo per termine di comparazione la dilatazione di uno dei gas insolubili che erano stati il soggetto delle esperienze precedenti. Il suo apparecchio era composto di due tubi esattamente graduati, e immersi verticalmente in un bagno di mercurio, uno contenente aria atmosferica, l'altro contenente il gas da sperimentarsi, e i due fluidi si ponevano a eguale altezza nei tubi: quindi questo apparecchio veniva portato in una stufa, della quale si elevava gradatamente la temperatura; e i due gassi vedevano alzarsi nei tubi in modo, che corrispondevano sempre esattamente alle stesse divisioni, lo che provava l'eguaglianza delle dilatazioni I fluidi che sono stati il soggetto di questa comparazione, sono il gas acido carbonico, il gas acido idroclorico, il gas solforoso e il gas nitroso. Da questa uniformità con cui si dilatano i diversi gas si deduceva intanto per analogia, che i vapori dovevano esser soggetti alla stessa legge; e su questo proposito Gay-Lussac si è contentato di una sola esperienza che doveva servire piuttosto di esempio che di prova, cioè ha scelto il vapore dell'etere

solforico; e usando lo stesso metodo che per i gas solubili, ha osservato che il progresso della dilatazione era assolutamente eguale da una parte e dall'altra.

Questi resultamenti son concordi con quelli delle esperienze, che verso l'epoca stessa Dalton aveva intraprese in Inghilterra relativamente allo stesso soggetto, ma che non potevano esser note al chimico francese quando espose le sue all'Instituto nazionale delle Scienze e Arti. Charles aveva osservati quindici anni prima simili effetti sui gas insolubili; ma dalle sue esperienze sui gas solubili resultava una dilatazione particolare per ciascun gas, e però in questo non era d'accordo con Gay-Lussac.

Dunque la dilatabilità dei varii gas e dei vapori per mezzo dell'azione del calore, non dipende in verun modo dalla natura di essi, ma dallo stato elastico di ciascuno. La fisica non comparisce mai tanto importante, quanto allora che lo studio dei fenomeni naturali la conduce a quelle proprietà che li generalizzano, e che ce li presentano come riuniti in un solo.

252. Per render ragione di questa uniformità della legge a cui son soggette le dilatazioni dei gas e dei vapori, basta considerare che le affinità che esercitavano fra loro le molecole di ciascun corpo nello stato liquido, e che facevano diversamente equilibrio alla forza elastica del calorico, secondo la diversa natura dei corpi, sono interamente distrutte in virtù del loro passaggio allo stato fluido: dunque in tal caso resta soltanto la forza elastica del calorico, la quale trovando le molecole di tutti i fluidi egualmente disposte per così dire ad obbedirle, deve stabilire un ordine uniforme nelle dilatazioni che accadono fra gli stessi limiti di temperatura.

253. Dalton, continuando le stesse esperienze sui fluidi, è giunto perfino a ridurre a una scala stessa le forze elastiche dei diversi fluidi paragonati fra loro, a temperature particolari per ciascuno di essi (*a*). Ha trovato dunque, che se si prende per termine comune la forza che fa equilibrio a una data pressione, come la pressione media dell'atmosfera, il rapporto in cui varia questa forza, a differenze eguali di temperatura, è lo stesso per tutti i fluidi. Così il vapore acquoso che a una temperatura di 100° C (80° R) (*b*), o al termine dell'ebullizione dell'acqua, è capace di sostenere una pressione di 76*centim.* (28*po*), perde la metà di sua forza, per una diminuzione di tem-

(*a*) *Biblioth. Britan.* n.° 160. vol. XX, p. 343 e seg.

(*b*) Quando parleremo di temperatura, indicheremo con la lettera C il termometro centigrado, e con la lettera R quello di Réaumur.

peratura di 16°,6 C (13°,3 R), e questa forza stessa divien doppia per un aumento di temperatura di 22°,2 C (17°,8 R). Ora il vapore di qualunque altro fluido perde egualmente la metà di sua forza, nel raffreddarsi 16,6 sotto il termine particolare della sua ebullizione, e acquista una forza doppia nel riscaldarsi 22°,2 sopra il termine stesso.

254. Scegliamo un altro rapporto, e facciamone l'applicazione al vapore dell'etere e a quello dell'acqua. Si sa che l'etere entra in ebullizione a 38°,8 C, (31°,4 R), cioè in questo stato esso sostiene una pressione di 76*centim.*: lo stesso vapore raffreddato fino a 16°,6 C (13°,3 R), non sostiene più che una pressione di 30*centim.*; e questa è pure la pressione sostenuta dal vapore acquoso a 77°,8 C (62°,2 R). Se dunque si prende la differenza fra 16°,6 e 38°,8, che indicano per l'etere il termine dell'ebullizione, si trova che essa è di 22°,2, eguale a quella che esiste fra 77°,8 e 100°, che corrispondono al calore dell'acqua bollente.

Dall'altra parte il vapore dell'etere riscaldato fino a 63°,8 C (51°,4 R), fa equilibrio a una pressione di 16*decim.*, e il vapore acquoso ha la stessa forza, quando la sua temperatura è di 135° C (100° R). E ciascuna di queste due temperature differisce di 25° da quella, che corrisponde all'ebullizione del liquido a cui essa si riferisce, poichè questa differenza è eguale a 63°,8 — 38°,8, per il vapore dell'etere, e a 125°—100° per il vapore acquoso. Chiaro dunque apparisce, che tutti i fluidi su cui il calorico esercita la sua azione, si rassomigliano fra loro nella maniera con cui obbediscono ad esso, come se non fosse che un fluido solo preso in diversi stati di densità; e in seguito questa rassomiglianza apparirà ancora più chiara.

Le ricerche di Gay-Lussac che abbiamo esposte di sopra, davano il rapporto delle dilatazioni per i due limiti soltanto che corrispondono agli estremi della temperatura, ma restava da determinarsi con precisione il coefficiente che rappresenta la dilatazione relativa a ciascun grado del termometro; ed era riserbato allo stesso fisico di riempir questo voto, e quindi di compire questa teoria, che per le sue ricerche aveva fatto sì rapidi passi verso la perfezione. Le sue ultime esperienze hanno provato, 1.° che tutti i gas si dilatano uniformemente nell'intervallo fra 0° e 100° del termometro centigrado: 2.° che la dilatazione che deriva da uno stesso aumento di temperatura è esattamente la stessa, tanto per tutti i gas quanto per tutti i vapori, come pure per tutte le mescolanze di gas e di vapori: 3.° che questa dilatazione comune è di 0,00375 per ciascun grado del termometro, prendendo per unità il volume del gas a 0° (*a*).

(*a*) *Annales de Chimie et de Physique*, 1816, t. I, p. 100.

Questi resultamenti sono stati confermati dalle nuove ricerche di Dulong e Petit, i quali sempre più si sono assicurati che esisteva la stessa uniformità ancora nelle più elevate temperature, sicchè essi stabilirono in principio, che tutti i gas si dilatano assolutamente in un modo stesso e in eguali quantità, a cambiamenti eguali di temperatura.

256. Se ora si riuniscano sotto un sol punto di vista i varii metodi esposti precedentemente, sarà facile il rilevare i rapporti che ne sono come l'anello comune di comunicazione. I resultamenti di Amontons che abbiamo citati gli ultimi, conducono a una conseguenza la quale non è che una specie di traduzione dei medesimi in diverso linguaggio: cioè che a qualunque temperatura, purchè sia costante, il volume di uno stesso gas sotto pressioni diverse, è in ragione inversa di queste pressioni, ossia, la forza elastica di uno stesso gas, in caso di densità diverse, è proporzionale a queste densità: e perchè la forza elastica di un gas cresce in proporzione dei pesi di cui viene aggravata, e il suo volume varia in ragione inversa della sua densità, l'indicato resultamento può pure esprimersi in quest'altra maniera, cioè che un gas si ristringe in ragione dei pesi che lo comprimono, lo che si accorda con la legge di Mariotte. La considerazione di questa legge resa in tal modo generale, è importantissima in chimica, poichè serve comunemente a ridurre alla stessa pressione i volumi di diversi gas, osservati sotto pressioni diverse.

8. DELLA GRAVITÀ SPECIFICA DEI FLUIDI ELASTICI.

257. Le gravità specifiche dei fluidi elastici si riferiscono ordinariamente a quella dell'aria, presa per unità, e quindi si trovano col misurare comparativamente il peso di un gas e quello d'un egual volume d'aria atmosferica. Questa operazione però è delicatissima, e richiede moltissime precauzioni per le variazioni a cui son sottoposte naturalmente queste specie di corpi. Si sa infatti che la temperatura di un gas, la pressione che sostiene, e la quantità di vapore acquoso che ritiene in se, sono altrettante cause che influiscono sulla sua densità; sicchè per ottenere resultamenti che sieno paragonabili fra loro, bisogna fare queste esperienze con gas asciuttissimi, sotto una pressione barometrica costante, e a un medesimo grado di temperatura. Per trovare i due pesi citati, si fa uso d'un globo di vetro che contenga almeno circa sei libbre, e chiuso con una chiave o *robinet*: si vota d'aria con la macchina pneumatica, e dopo aver chiusa la chiave, si pesa in questo stato il globo con una bilancia ordinaria, sospendendolo con un filo a uno dei bacini; quindi con molta diligenza si empie d'aria o di gas,

e si pesa di nuovo; e l'aumento di peso è il vero peso del fluido introdottovi. Conosciuto in tal modo il peso d'un egual volume d'aria, il rapporto fra questi pesi indica la gravità specifica cercata del gas. In questa maniera è stata trovata la gravità specifica degli elementi componenti l'acqua, cioè del gas ossigene, 1,1036, e del gas idrogene, 0,0732, come pure quella del vapore acquoso, 0,624; ed egualmente la gravità specifica del gas azoto, che entra nella composizione dell'aria atmosferica, è stata trovata 0,969, e quella del gas acido carbonico, 1,5196.

DELLE DILATAZIONI E CONTRAZIONI DI VARII CORPI SOLIDI PER EFFETTO DELLE VARIAZIONI DI TEMPERATURA.

258. Era una specie d'assioma adottato da molto tempo, che il calore dilata i corpi e che il freddo li ristringe; ma in conseguenza dei progressi che la scienza ha fatto in questi ultimi tempi, il fisico ha acquistate nuove cognizioni, per cui ha convertito questo assioma in un'altra espressione più giusta, perchè presenta i due fenomeni nel loro vero aspetto, cioè, quanto più il calorico si accumula nei corpi, tanto più facilmente ne separa le molecole, esercitando una forza superiore alla forza d'affinità che le tiene unite; e a misura che esce dai corpi stessi, la forza d'affinità divien superiore alla forza d'elasticità di esso, e le molecole si avvicinano di nuovo fra loro. Dobbiamo dunque riguardare quest'immensa moltitudine di corpi sparsi nella natura, come composti di molecole sulle quali operano due forze contrarie in contrasto fra loro, ognuna delle quali ora domina ora cede; sicchè in mezzo alle continue alternative della temperatura, queste molecole vanno continuamente oscillando intorno ai centri delle loro sfere d'attività sensibile. Insensibili però sono per noi gli effetti ordinarii di queste oscillazioni; ma vi sono alcune circostanze in cui una delle due forze prevale talmente sull'altra, che l'aumento o la diminuzion di volume che ne resulta non può trascurarsi, specialmente quando queste variazioni, che per se stesse son poco considerevoli, divengono notabili nei resultamenti delle osservazioni, alle quali è destinato un meccanismo o un apparecchio, esposto in tempo di queste variazioni medesime all'incostanza della temperatura.

259. Nel cercare le particolari dilatazioni e contrazioni che per questa causa soffrono alcune sostanze di un uso più comune, è stato trovato che per ogni grado del termometro di Réaumur, il ferro si dilata circa $\frac{1}{5000}$ per ogni sua dimensione, il rame di $\frac{1}{4000}$, il platino di $\frac{1}{9000}$, e il vetro di $\frac{1}{10000}$.

Regola di un uso facile nelle operazioni relative allo stesso argomento.

260. Per conoscere la dilatazione di una delle superficie d'un solido, quando è noto il rapporto di dilatazione della sostanza di cui è composto, si moltiplica la frazione che rappresenta questo rapporto, per il numero dei gradi di cui è stata elevata la temperatura, e quindi si prende il doppio del prodotto; e per conoscere la dilatazione di tutto il volume, si prende il triplo dello stesso prodotto: per esempio, se si abbia una massa di ferro che si sia dilatata, passando da una temparatura di 10° R a quella di 15°, cioè elevandosi 5°, si moltiplica per 5 il rotto $\frac{1}{5000}$ che esprime il rapporto di dilatazione del ferro, e prendendo il triplo del prodotto si ha $\frac{15}{5000}$ o $\frac{1}{500}$; dal che resulta che il corpo si è dilatato $\frac{1}{500}$ del suo volume. I geometri vedranno facilmente che questo metodo si riduce a considerare il corpo come un parallelepipedo, la solidità del quale sarebbe il prodotto delle tre dimensioni di esso, e quindi a cercare l'aumento di questa solidità, facendo variare ciascuna dimensione secondo la legge data della dilatazione, e trascurando le quantità che sono a una potenza che supera il primo grado, potendosi, in operazioni di questo genere, rignardare come nullo l'errore prodotto da questa omissione (*a*). In queste operazioni si suppone che i gradi di dilatazione sieno conformi alle variazioni di temperatura, supposizione permessa nel caso presente, perchè i corpi che si considerano hanno una temperatura moderata, e son lontani dallo stato di fusione, in cui l'azione del calorico divien tanto maggiore di quella dell'affinità, che la dilatazione cresce molto più rapidamente della temperatura.

(*a*) Siano x, y, z, le tre dimensioni del corpo, $\frac{1}{s}$ il rapporto di dilatazione par un grado di temperatura, n il numero di gradi di cui è stata alevata la temperatura. si supporrà che le quantità x, y, z sieno divenute, la prima $x+\frac{x}{s}$, la seconda $y+\frac{y}{s}$, la terza $z+\frac{z}{s}$. Moltiplicando queste tre ultime quantità l'una per l'altra, e sopprimendo i rotti, dei quali il denominatore sia s^2 o s^3, si avrà $xyz+\frac{xyz}{s}-xyz$, o $\frac{3xyz}{s}$, dilatazione che corrisponde a un grado; dunque la dilatazione totale sarà $\frac{nxyz}{s}$.

Quei dotti che hanno stabilite le nuove unità di misura e di peso, hanno veduto quanto era importante il servirsi di questo metodo in operazioni di tal genere. Le righe di platino destinate a misurare le basi della catena dei triangoli, da cui è stato dedotto il valore dell'arco del meridiano che passa per la Francia, sono state messe in opera in diversi giorni e a diverse temperature; e il cilindro d'ottone che ha servito a stabilire l'unità di peso (§. 62.), quando fu pesato nell'acqua non aveva più la stessa temperatura che aveva quando fu calcolata la sua solidità. La cognizione della quantità di cui si dilatano il platino e l'ottone per ogni grado di termometro, ha servito per fare sparire certi sbalzi nella temperatura, e per ottenere lo stesso intento e con l'osservazione e con la teoria.

Pendolo compensatore.

261. Si sa quanto la dilatazione e la condensazione dei metalli per effetto delle variazioni di temperatura, sieno nocive alla regolarità del moto degli orologi, riducendo più lunga o più corta la verga del pendolo, per la qual cosa le sue oscillazioni vengono ritardate o accelerate. Per mezzo d'un meccanismo ingegnoso è stata convertita in vantaggio questa causa di irregolarità, e le sue stesse anomalie hanno servito a produrre la costanza e l'uniformità Questo meccanismo consiste in generale in combinare con la verga di ferro del pendolo un altro corpo metallico, che suol farsi di rame, e nel disporre il tutto in modo, che quando la verga di ferro a cui è sospesa la lente si allunga o si raccorcia, il rame soffrendo simili variazioni in modo contrario, stabilisce un'esatta compensazione, e così il centro d'oscillazione si conserva costantemente alla medesima altezza.

Altri esempii di Dilatazioni o Contrazioni prodotte dalle medesime cause.

262. L'influenza del calorico sulle dimensioni dei corpi si osserva ancora in molti altri fatti, che ci sono familiarissimi. Un cambiamento un poco notabile di temperatura altera il grado di tensione delle corde negli strumenti di musica, che divien diverso da quello col quale erano state accordate, e quindi con un'altra operazione bisognerà ridurle di nuovo a quella tensione, da cui dipende la giustezza del suono e l'armonia.

263 Il vetro può rendersi dilatabile con una curiosa esperienza, che eccita sempre la maraviglia in chi la vede la prima volta. Si prende

un tubo di vetro di diametro stretto, che termina con una palla grossa quanto un'arancia; si empie questa palla e una porzione del tubo d'un liquido colorato, segnando il punto del tubo in cui si ferma il liquido; si immerge la palla in un vaso pieno d'acqua che è vicina a bollire, e quindi si ritira: nel momento dell'immersione, il liquido del tubo scende precipitosamente e moltissimo, ma appena ritirato il tubo dall'acqua, il liquido risale alquanto sopra il segno fatto sul tubo. In questa esperienza, il calore che si comunica in principio al vetro, ne dilata le parti, e quindi cresce la capacità della palla, e però il liquido scende: ritirata poi la palla dall'acqua calda, e rimessa in contatto con l'aria, si ristringe, e il liquido che aveva già acquistata una piccola quantità di calore, si alza un poco sopra il primo livello.

La materia delle stoviglie che si fabbricano per i nostri usi, essendo per se stessa un cattivo conduttore del calorico, specialmente se il suo tessuto è compatto e serrato, ne resulta un inconveniente di cui ci accorgiamo nell'esporre questi vasi all'azion del calorico. Questo fluido, per la lentezza con cui si distribuisce accumulandosi nei punti nei quali può penetrare più liberamente, tende a produrvi uno slontanamento fra le molecole; e se si usi qualche precauzione per evitarne la rottura la prima volta che si espongono al fuoco, vi nascono certe piccole scoppiature, che si fanno sentire all'orecchio con un certo scoppiettare, e che si rendono poi visibili all'occhio, formando come una rete sulla superficie della vernice di cui è stato intonacato il vaso. Un tessuto più debole e più poroso impedirebbe questo inconveniente, ma il vaso diverrebbe più fragile; quindi è difficile combinare in questi oggetti solidità e resistenza all'azione del fuoco, non potendosi avere una di queste qualità se non a scapito dell'altra.

10. DEL TERMOMETRO.

Dall'osservare il cambiamento di volume prodotto nei liquidi dall'aumento o dalla diminuzione del calorico, è nata l'idea d'uno strumento prezioso per il fisico, che se ne serve come di guida nelle sue esperienze; strumento diventato poi d'un uso quasi generale, perchè a tutti importa il consultarlo; e questo strumento è il termometro, che serve a misurare i gradi del calore. Prima che fosse inventato, non erano che incerte e confuse tutte le indicazioni sulle variazioni della temperatura; e bastava allora paragonare fra loro gl'inverni più rigidi e le estate più calde, per mezzo di certi effetti generali che davano un rapporto inesatto, quanto inesatte erano le espressioni di caldo e di freddo: ora per mezzo del termometro possiamo conservare le più pre-

cise indicazioni delle diverse stagioni di ciascun anno, e degli effetti graduati della temperatura di esse.

Origine del Termometro.

264. Questo strumento di cui la prima idea viene attribuita a Drebbel olandese, era sul principio molto imperfetto, come imperfette son sempre in prima origine le umane produzioni. Consisteva esso in un tubo di vetro aperto a un'estremità, e che dall'altra terminava in palla Immersa l'estremità aperta in un liquido colorato, e poi applicata la mano sulla palla per riscaldare e dilatare l'aria interna, una porzione di questa esciva a traverso del liquido; sicchè ritirando quindi la mano, condensandosi per raffreddamento l'aria rimasta, il liquido veniva spinto dentro il tubo fino a una certa altezza, dalla pressione dell'aria esterna Con tal costruzione si riguardava lo strumento come formato e atto a servire, e la dilatazione o la contrazione dell'aria interna, prodotta dalle variazioni di temperatura, facendo scendere o risalire il liquido sospeso nel tubo, indicava queste variazioni medesime. Ma è facile il persuadersi, che da questo strumento non potevano aversi se non equivoche indicazioni, perchè si confondevano in esso gli effetti del termometro con quelli del barometro.

Termometro di Firenze.

265 I Fisici attesero a perfezionare questo primo abbozzo, e a ridurlo a vero e solo termometro. Tale era quello chiamato *Termometro di Firenze*, e che consiste in un tubo di vetro terminato egualmente in palla, ma chiuso ermeticamente all'altra estremità, dopo essere stato empito di liquido colorato fin verso la metà della sua altezza.

Questo tubo era quindi applicato sopra una tavoletta graduata, e il numero di gradi percorsi dal liquido, indicava quanto esso si era dilatato o contratto. Ma poichè le basi tanto della costruzione dello strumento quanto della division della scala erano totalmente arbitrarie, ciascuno strumento aveva un linguaggio particolare, che non poteva esser inteso se non da chi l'aveva costruito: e due strumenti costruiti in tal modo, non potevano servire scambievolmente l'uno all'altro da interpetri, nè mettevano l'osservatore in stato di decidere, se il caldo o il freddo era stato maggiore in un luogo o in un altro.

Condizioni necessarie per ottenere un buon Termometro.

266. La perfezione del termometro consiste essenzialmente nella riunione di due qualità, cioè nell'esser paragonabile con se stesso nei moti diversi del suo liquido, e nell'esser paragonabile con tutti i termometri costruiti sugli stessi principii, situati in climi diversi. Per concepire in che consiste la prima di queste qualità, convien ricordarsi che il calorico comunicato a un corpo, impiega una porzione delle sue molecole a elevare la temperatura di esso, e l'altra a dilatarlo (§. 149). L'elevazione di temperatura dipende dalla quantità di cui è stata accresciuta la tensione del calorico sensibile; e giudichiamo di questo accrescimento di tensione dalla quantità della dilatazione che è l'effetto d'un'altra porzione del calorico, cioè di quella che è divenuta latente. Perchè dunque la quantità della dilatazione possa indicare la misura dell'aumento di tensione, bisogna che la porzion del calorico che serve a dilatare il corpo, sia proporzionata a quella che eleva la temperatura. Ciò peraltro non accade nella maggior parte dei corpi, nei quali il rapporto fra la porzion di calorico che dilata e quella che riscalda, varia al variare della stessa dilatazione; ma vedremo che esistono alcune sostanze, nelle quali queste due porzioni variano quasi di gradi eguali, almeno nell'intervallo compreso fra i limiti dell'ordinarie osservazioni.

Per ottenere la seconda qualità che rende varii termometri paragonabili fra loro, bisogna che i moti del liquido si combinino talmente con la graduazione in ognuno di essi, che quando è la stessa la temperatura nei diversi luoghi nei quali li supponiamo situati, indichino tutti lo stesso grado della scala. E a questo fine in fatti si rivolsero fin da principio le ricerche dei Fisici: quelle poi che si riferiscono alla prima qualità, della quale nei primi tempi o non si conosceva o si trascurava l'influenza, dipendevano da certe operazioni delicate, riserbate a un'epoca in cui la teoria del calorico, tanto delicata essa pure, fosse più perfezionata. Prima di esporre la costruzione che riunisce l'una e l'altra qualità, descriveremo un termometro che corrisponde a un'epoca memorabile nella storia di questo strumento, termometro sempre famoso, quantunque presentemente conosciamo una maggior perfezione in questo genere.

Termometro di Réaumur.

267. Réaumur immaginando il suo termometro, aveva in mira di soddisfare a tre condizioni: primo, che la graduazione partisse da un termine costante, in cui egli poneva lo zero del termometro; secondo,

che i gradi avessero un determinato rapporto con la capacità della pallina e della parte del tubo situata fra essa e lo zero; terzo, che l'alcool di cui si serviva avesse un grado noto di dilatabilità, al quale si potesse sempre ridurre. Fra i due termini costanti conosciuti, cioè il calore dell'acqua bollente, e il freddo prodotto dalla congelazione dell'acqua, dovendo sceglierne uno, scelse quello del freddo, perchè sembra che esso sia il limite naturale fra il caldo e il freddo; e per determinarlo scelse il punto della congelazione artificiale dell'acqua, per mezzo di una mescolanza di ghiaccio e sal marino: in vece di questo è stato poi preso quello del ghiaccio che si fonde, che è almeno un termine egualmente costante.

Questo famoso Fisico si serviva d'acqua comune per graduare il termometro: e primieramente empiva di quest'acqua la pallina e una parte del tubo, e disponeva le cose in maniera, che la quantità d'acqua adoprata, era mille volte maggiore di quella che poteva esser contenuta in una piccolissima misura presa per unità. Segnando lo zero nel punto del tubo a cui arrivava questa quantità d'acqua introdotta, si disponeva a segnare i gradi, cominciando da quelli di condensazione; e a questo fine faceva primieramente uscir dal tubo una tal quantità d'acqua, che empisse esattamente una misura, la quale conteneva la misura unità un certo numero di volte; sicchè se questa misura conteneva per esempio 25 unità, dovevan essere sul termometro 25 gradi di condensazione. Per ottenere questi gradi si serviva della misura elementare, dimanierachè ciascuna elevazione dell'acqua nell'interno del tubo, prodotta dal versamento di una misura elementare, formava la grandezza d'un grado. In questa seconda operazione Réaumur si serviva di mercurio in vece d'acqua, perchè esso non attaccandosi al vetro, l'operazione era più precisa. Il mercurio nel cadere in fondo alla pallina, faceva salire altrettanto il liquido contenuto nel tubo, e così l'autore proseguiva la graduazione fino a 80° sopra lo zero; e preferiva questo modo di graduare il tubo, introducendovi successivamente quantità eguali di liquido, piuttosto che continuare la divisione con la nota grandezza di un grado, per non dover nulla temere per parte delle disuguaglianze interne del tubo, e delle variazioni del suo diametro.

Fissata così la graduazione, Réaumur votava il tubo, e vi versava una quantità d'alcool fino all'altezza di 4 o 5 gradi sopra lo zero, quindi immergeva la palla nell'acqua contenuta in un vaso di latta circondato di ghiaccio artificiale. Appena l'acqua entrava in congelazione, egli osservava il punto a cui si fermava l'alcool, e secondo che lo trovava o sopra o sotto lo zero, levava o aggiungeva una porzione di liquido finchè quello che restava nel tubo fosse a livello con lo zero,

Da questa descrizione si rileva, che per ogni grado di calore, l'alcool si dilatava d'una quantità eguale alla millesima parte di quella, che nel momento della congelazione empiva la palla e la parte del tubo compresa fra la palla e lo zero. Qui terminerebbe l'operazione, se qualunque alcool avesse le stesse qualità e la stessa dilatabilità: ma poichè non era possibile avere questi vantaggi, sarebbe stato necessario conoscere di quanta dilatazione fosse capace quell'alcool con cui si costruiva il termometro, e Réaumur infatti fece tale ricerca nel modo seguente.

Avendo immerso a più riprese un tubo, contenente una quantità d'alcool, in un'acqua che andava sempre più riscaldandosi, e che passava poi all'ebullizione, aveva osservato che dopo avere estratto il tubo da quest'acqua, quando cessavano le bolle eccitate dal calore nell'alcool, il liquido era sempre più alto che prima dell'immersione: ma questa dilatazione non si osservava che fino ad un certo termine, al di là del quale, appena era cessata l'ebullizione, il liquido ritornava al suo livello. Réaumur riguardava come un termine costante per ciascuna specie di alcool questa dilatazione, la quale era la maggiore che il liquido stesso potesse provare per effetto del calore dell'acqua bollente, senza bollire esso medesimo; quindi ne veniva, che relativamente ad una data specie di alcool, esisteva un rapporto costante fra il volume del liquido, che corrispondeva al termine di congelazione, e quello del liquido stesso dilatato al massimo grado senza bollire; il qual rapporto era maggiore per l'alcool rettificato, e minore per l'alcool mescolato con l'acqua. Réaumur aveva conservato il rapporto di 1000 a 1080, il quale non poteva convenire che ad un alcool un poco allungato, e bisognava cercare, senza aver certi dati, il grado di mescolanza che dava questo rapporto.

Di qui si vede che egli aveva preso come secondario il calore dell'acqua bollente, e che il grado 80 del suo termometro era necessariamente più basso che sul termometro ordinario, poichè un calore minore di quello dell'acqua bollente, basta per portar l'alcool a un grado vicino all'ebullizione

Questa costruzione fu adottata generalmente, e ognuno parlava del termometro di Réaumur: anzi fu associata talmente l'idea dello strumento al nome dell'inventore, che ancora ai tempi nostri i termometri di cui ci serviamo si chiamano *Termometri di Rèaumur*, quantunque non sieno costruiti secondo il suo metodo.

Digitized by Google

Termometro moderno usato in Francia.

268. Questo nuovo strumento è fondato su due termini fissi, uno dei quali, che serve di principio per costruirlo, non differisce da quello fissato da Réaumur, se non per la circostanza in cui si trova l'acqua, con la temperatura della quale si fissa questo termine, e che è lo stato del ghiaccio che si fonde, invece dello stato di congelazione principiata; e l'altro termine è il calore dell'acqua bollente. Si sceglie un tubo di calibro uniforme più che sia possibile, e si divide in 80 parti, che si chiamano gradi, la distanza compresa fra i due termini fissi, continuando la divisione sotto lo zero; la qual distanza nel Termometro che si chiama *centigrado* si divide in 100 parti.

Questo metodo unisce al merito di una maggiore esattezza, quello della semplicità, in quanto che riduce unicamente la costruzione del termometro alla causa stessa delle variazioni di questo strumento, e alle due epoche in cui l'acqua, prendendo tutto ad un tratto una nuova forma, indica al Fisico l'esistenza del punto fisso che egli voleva determinare. Dobbiamo osservare a questo proposito, che la pressione dell'aria non influisce molto sul primo limite, cioè sul grado del ghiaccio che si fonde, mentre bisogna avere in considerazione questa pressione per stabilire il limite opposto, poichè in proporzione che l'acqua è più o meno compressa, entra in ebullizione a una temperatura più alta o più bassa. È stata scelta la pressione che corrisponde ad un'altezza di 28° pollici nel barometro, perchè questa è la pressione media ordinaria al livello del mare.

È chiaro adunque, che essendo gli stessi i due limiti nei diversi termometri costruiti secondo questi principii, e i gradi della scala essendo in tutti altrettante parti proporzionali alla distanza fra i due limiti stessi, le variazioni indicate dai moti del liquido hanno fra loro un rapporto, qualunque sia questa distanza. Tal graduazione diverrà dunque come un linguaggio di commercio fra tutti i termometri; sicchè se due di questi strumenti posti uno a Parigi e un altro ad Amsterdam, indicano lo stesso grado, sarà certo che la temperatura è la stessa nei due paesi, e che se indicano gradi diversi, ciascuno di essi parlerà precisamente come avrebbe parlato l'altro nella stessa situazione.

Digitized by Google

Mercurio preferibile all' alcool, per la costruzione del Termometro.

269. È stato adoprato l'alcool per molto tempo, come l'adoprava pure Réaumur, per avere una colonna di liquido, che con le sue elevazioni e con i suoi abbassamenti, indicasse la diversità della temperatura. Abbiamo detto di sopra (§. 267) in qual modo Réaumur stesso avea procurato di rimediare all'inconveniente che ha questo liquido, di variare in purità e in densità, secondo le diverse maniere che si usano per ottenerlo; quantunque però non possa riguardarsi come esatto quel metodo, che inoltre è incomodissimo per i molti tentativi che richiede: quindi i termometri così costruiti, lasciavano per questa parte molta incertezza sull'uniformità delle loro indicazioni. Ma l'alcool ha di più un altro inconveniente che non era stato conosciuto dagli osservatori, ed è che il termometro costruito con questo liquido non ha un andamento uniforme a quello della temperatura, sicchè le dilatazioni progressive dell'alcool stesso indicano gradi notabilmente diseguali, a variazioni eguali di temperatura; e qui torna in proposito la prima condizione di cui abbiamo parlato (§. 266.), e senza la quale nessun termometro è paragonabile con se stesso. Vediamo ora come il mercurio sia più vantaggioso dell'alcool per tutte le ragioni.

E primieramente questo metallo liquido, quando è stato purificato, è omogeneo e d'una densità uniforme in tutta la sua massa; ed è stato osservato di più che i suoi moti nel termometro erano notabilmente diversi da quelli dell'alcool; e il celebre Deluc ha fatto alcune esperienze da cui ha creduto rilevare, che queste differenze derivavano dall'essere il mercurio esente quasi totalmente da certe anomalie a cui è soggetto l'alcool. In queste esperienze mescolava due masse eguali di acqua a diverse temperature, una per esempio a 75° R l'altra a 6°, essendo quest'ultima temperatura eguale ancora a quella dell'aria circostante. Egli pensava che la mescolanza dovesse prendere una temperatura media fra le temperature delle due masse separate, cioè eguale alla semi-somma 40° ½ delle temperature estreme: ma avendo immerso nella mescolanza un termometro a mercurio, con cui avea conosciute le temperature particolari delle due masse d'acqua; osservò che lo strumento indicava una temperatura che era un poco inferiore alla media.

270. Ma l'esperienza da cui doveva decidersi della perfezione di un termometro a mercurio non era totalmente precisa. Per ben comprendere ciò, osserviamo che l'acqua calda in questo caso non giunge all'equilibrio di temperatura con l'acqua fredda, se non con cedere a questa la

metà del calorico che stabilisce la differenza di 69° fra le due temperature. Ma noi crediamo di potere asserire, che la porzione di questa medesima metà che serve a dilatare l'acqua fredda, è maggiore di quella che la contrazione del liquido ha prodotta nel ristringersi (*a*): dunque bisogna che la porzione che nello sprigionarsi produce il raffreddamento dell'acqua calda, sia maggiore di quella che serve a riscaldare l'acqua fredda. poichè la somma delle due porzioni è eguale alla quantità di calorico, che è passato dall'acqua calda nella fredda. Dunque la temperatura della prima si abbassa più di quello che non si eleva la temperatura della seconda, e quindi la temperatura della mescolanza deve essere inferiore alla media.

271. Laplace ha trovato nel termometro ad aria il vero termine di comparazione, che doveva servire a verificare l'andamento del mercurio (*b*). Supponiamo che una massa d'aria riceva successivamente nuove quantità di calorico, e che nel tempo stesso sia tenuta ristretta nello spazio che occupava: in tal caso è molto probabile, che gli aumenti della sua forza elastica sieno proporzionali alle elevazioni della sua temperatura, poichè ambedue dipendono dall'azione del calorico. Che se l'aria invece d'esser ristretta nello stesso spazio possa dilatarsi, restando soggetta a una pressione costante, le sue dilatazioni saranno proporzionali agli aumenti che riceverebbe la sua forza elastica, in caso di uniformità di volume, e quindi esse saranno altresì proporzionali alle elevazioni della temperatura; ed è questo appunto il carattere d'un termometro sempre d'accordo con se stesso.

Vediamo ora come Gay Lussac, invitato da Laplace, ha paragonato l'andamento del termometro a mercurio con quello del termometro a aria. Preso un tubo di vetro esattamente calibrato, terminato in palla da una parte e aperto dall'altra, ha introdotto in esso una goccia di mercurio, la quale si è trovata soggetta, da una parte alla pressione dell'aria contenuta nella porzione del tubo situata sotto di essa e nella palla, e dall'altra parte alla pressione dell'aria atmosferica; e al variare

(*a*) La porzione di calorico che sviluppandosi produce la contrazione dell'acqua calda, è eguale a quella che, cominciando dall'ultimo termine della contrazione, porrebbe nuovamente quest'acqua nel suo primo stato di dilatazione. Ma l'affinità delle molecole di quest'acqua stessa, opporrebbe minor resistenza alla forza dilatante di questa porzione di calorico, di quello che l'affinità delle molecole dell'acqua fredda non ne oppone alla forza del calorico che serve a dilatarla, poichè a una temperatura più bassa, le molecole acquee sono meno lontane l'une dalle altre. Dunque la porzione di calorico che nell'escire dall'acqua calda produce la contrazione di essa, deve esser minore di quella che serve a dilatare l'acqua fredda.

(*b*) *Traité de Mécanique Céleste*, T. IV, *préface*, p. 22.

della temperatura dell'aria interna, la goccia con i suoi moti indicava quanto l'aria si era dilatata o contratta.

L'apparecchio destinato alle esperienze era un vaso pieno d'acqua, nel quale era immerso orizzontalmente il tubo. sicchè la sua parte situata verso l'orifizio aperto, esciva fuori del vaso per mezzo d'un foro circolare fatto nella parete laterale. E primieramente, in quanto all'aria contenuta nel tubo, fu fissato il termine del ghiaccio che si fonde, e quello dell'acqua bollente, e la stessa operazione fu ripetuta con un termometro a mercurio; quindi in ciascun termometro fu diviso in due parti eguali l'intervallo fra i due limiti, cioè 50° della divisione centesimale da una parte e dall'altra.

I due termometri immersi nello stesso bagno d'acqua riscaldata progressivamente, indicarono contemporaneamente questo grado, con alcune piccole differenze, le quali in venti esperienze successive si trovarono ora in più ora in meno, e dettero per resultamento medio una quantità quasi insensibile: dunque l'andamento dei due termometri è lo stesso, almeno dallo zero fino al termine dell'acqua bollente, e così il termometro a aria di cui è quasi assicurata l'esattezza dalla natura stessa di questo fluido, ma che però sarebbe di difficile esecuzione, serve esso pure a verificare le indicazioni del termometro a mercurio; ed è cosa utilissima che questo metallo, che è tanto singolare per l'azione del calorico che lo tiene abitualmente in stato liquido, sia tanto singolare ancora per la regolarità con cui vien dilatato da quest' azione.

272 È dunque da desiderarsi che il termometro a mercurio divenga d'un uso generale, riserbando il termometro a alcool per quei casi soltanto, in cui vogliamo fare qualche osservazione per mezzo del freddo artificiale sotto i 32°, freddo che produce la congelazione del mercurio. Di questo fenomeno parleremo trattando della congelazione dell'acqua, poichè essa è accompagnata da tali circostanze, che essendo in una specie di contraddizione con quelle che si osservano nella congelazione del mercurio, ci hanno indotti a riunire sotto un sol punto di vista ambedue questi fenomeni.

Osservazione sull'Aria che potrebbe restare nel tubo dello strumento.

273. Alcuni Fisici hanno creduto, che lasciando una certa quantità d'aria fra il liquido del termometro e l'estremità superiore del tubo, il liquido non obbedirebbe liberamente all'azione del calore, e che quest'aria gli impedirebbe di dilatarsi regolarmente: ma oltre la teoria, l'osservazione ancora ha provato che non sussiste un tale ostacolo. In questo caso infatti l'aria non potrebbe essere che una forza comprimente;

ma si sa che i liquidi resistono sensibilmente alla compressione, e questa resistenza ha luogo egualmente a qualunque temperatura; e poichè i fluidi all'opposto si lascian comprimere facilmente, il mercurio piuttosto o l'alcool obbligherà l'aria a contrarsi, e a cedere una porzione di spazio.

Dilatazione assoluta del mercurio.

274. Il conoscere la dilatazione assoluta del mercurio è utile in moltissime esperienze, e specialmente per la costruzione della formula barometrica. La dilatazione apparente indicata dal termometro, non è che la differenza di espansione del liquido e del vetro che lo contiene; e per dedurne la vera dilatazione, bisognerebbe sapere con qual legge si dilata la materia stessa che lo circonda. Ma la misura dell'espansione dei solidi è soggetta a tante difficoltà, che la maggior parte delle determinazioni che sono state fondate sopra di essa, sono totalmente inesatte, come hanno osservato Dulong e Petit, seguendo un altro metodo indipendente da questa misura. Questo metodo è fondato unicamente sulla condizione d'equilibrio dei fluidi di diverse densità nei bracci d'un sifone rovesciato.

Essi hanno trovato che la dilatazione assoluta del mercurio fra 0° e 100° è $\frac{1}{5550}$ per ciascun grado centesimale, mentre la dilatazione apparente è soltanto $\frac{1}{5450}$. (a) (15).

Termometri di Fahrenheit e di Delisle.

275. Nell'opere dei Fisici stranieri si trovano spesso citati due altri termometri, dei quali crediamo opportuno dar qui un'idea, affinchè ciascuno possa agevolmente ridurre le indicazioni di quelli alle indicazioni dei termometri che sono in uso fra noi.

Il primo è il Termometro di Fahrenheit, che è a mercurio, e che per termini fissi ha il grado della congelazione forzata prodotta dal-

(a) *Annal. de Chim. et de Phys.* t. XVII, p. 124.

(15) Secondo l'opinione del Can. Bellani sembra che il mercurio non contenga aria; ma le bolle che si veggono talvolta in esso, sono effetto degli strati aereo-acquosi aderenti al vetro. È bella la prova che ne adduce. Privato d'aria un termometro, se si rovescia lo strumento, il mercurio va a colpire l'estremità interna del tubo; ma se dopo si riscalda l'estremità del tubo stesso fino a fargli prendere il color rosso, e poi si rovescia nuovamente, il mercurio non arriva più fino al fondo del tubo, perchè v'è un vapore sviluppato dal vetro nel riscaldarsi, il qual vapore produce lo stesso ostacolo dell'aria atmosferica. Bib. Univ. T. XXII. p. 101-103.

l'Idrocolorato ammoniacale, e quello che corrisponde al calore dell'acqua bollente. L'intervallo fra questi due termini è diviso in 212 parti; quindi il 32mo grado corrisponde allo zero del nostro termometro, e però restano 180° fra questo termine stesso e quello dell'acqua bollente: dunque 9° di Fahrenheit (F) corrispondono a 4° R e a 5° C; e questa notizia serve per far qualunque riduzione da un termometro a un altro (16).

276. L'altro termometro parimente a mercurio è quello di Delisle, il quale non prendeva che un sol termine fisso, cioè il calore dell'acqua bollente, dove egli poneva lo zero. I gradi di condensazione sotto questo termine erano dieci millesimi della capacità della pallina e della porzione del tubo che terminava a zero; il grado a cui si riferisce la temperatura del ghiaccio che si fonde, e che corrisponde al nostro zero, era il 150mo della scala discendente sul termometro di Delisle; quindi 15° di questo termometro corrispondono a 8° R, e a 10° C; sicchè, relativamente a quest'ultimo, il rapporto ridotto alla sua maggior semplicità è di 3 a 2.

Le molte ricerche intraprese dai Fisici ad oggetto di perfezionare il termometro, basterebbero sole a provare il merito di questo strumento, per mezzo del quale abbiam potuto scoprire fatti importantissimi. Esso è indispensabile in moltissime esperienze per paragonare le temperature dei corpi, o per conoscere i cambiamenti che accadono nella

(16) Dunque allo zero di Réaumur (0°R) corrispondono 32° di Fahrenheit (32°F), e all'80° di Réaumur (80°R) 180° di Fahrenheit (180° F); quindi

F : R :: 180 : 80 :: 9 : 4,

F : C :: 180 : 100 :: 9 : 5; e quindi

R : C :: 4 : 5; cioè ogni grado del termometro diviso in 80 parti equivale a $2\frac{1}{4}$ F, e a $2\frac{1}{5}$ C; e ogni grado del termometro centigrado corrisponde a $\frac{9}{5}$ F.

E mettendo tutto in un punto di vista

$$\left.\begin{array}{l} 1^\circ\ C \\ 1^\circ\ R \\ 1^\circ\ F \end{array}\right\} = \left.\begin{array}{l} \frac{9^\circ}{5}\ F \\ \frac{9^\circ}{4}\ F \\ \frac{4^\circ}{9}\ R \end{array}\right\} = \begin{array}{l} \frac{4^\circ}{9}\ R \\ \frac{5^\circ}{4}\ C \\ \frac{5^\circ}{9}\ C \end{array}$$

Perciò in generale, perchè nella scala di F. l'intervallo fra il grado dell'acqua bollente e quello del ghiaccio che si fonde naturalmente è 212—32=180; e poichè F : R :: 9 : 4, se si voglia sapere quanti gradi R corrispondono a n gradi F, si dirà $n-32 : x :: 9 : 4$, e quindi $x=(n-32)\frac{4}{9}$. Così se la scala di F indica 50°, sarà $x=(50-32)\frac{4}{9}=8^\circ$ R. È poichè R : C :: 4 : 5, sarà 8 : x :: 4 : 5, e x=10° C; dunque 50° F=8° R=10° C.

temperatura primitiva di essi. Utili pure sono le sue indicazioni per conoscere il calore adattato alla stanza di un malato, all'acqua di un bagno o ad una stufa, tanto per accelerare la vegetazione delle piante indigene, quanto per conservare le piante straniere: in sostanza è uno strumento di società consultato da ognuno, col fine importante di conoscere le variazioni di temperatura del fluido in mezzo al quale viviamo; e quando queste variazioni si estendono molto al di là dei limiti ordinarii, l'indicazione del termometro diviene importante per tutti, dimanierachè non vi è conversazione familiare che non racconti le sue osservazioni di questo genere, e non tenga conto di quelle che vengono annunziate da altri.

Termometro di Brèguet.

277. La costruzione della scala che sui nostri termometri indica i gradi successivi della temperatura, non è che un mezzo usuale di suddividere una serie che varia insensibilmente da un termine all'altro. I Fisici moderni per ottenere una precisione sempre maggiore nei resultamenti delle loro esperienze, hanno inventato nuovi strumenti, coi quali son riesciti ad avere misure molto più esatte che con gli strumenti ordinarii. Uno di questi nuovi utili strumenti è sicuramente il termometro di Bréguet, semplicissimo nella sua costruzione, ingegnoso per il meccanismo da cui dipendono i suoi effetti, e sensibilissimo.

278. Questo termometro serve principalmente a render sensibili i minimi cambiamenti di temperatura, che accadono da un momento all'altro in un dato luogo. Il pezzo principale di questo strumento è una spirale (*fig.* 24) composta di tre lastre sottilissime di metalli disugualmente dilatabili, cioè argento, oro, platino (*a*): queste tre lastre son saldate insieme e ridotte, col farle passare fra gli spianatoii, a una grossezza non maggiore di $\frac{1}{50}$ di millimetro. La spirale è sospesa a un cilindro voto d'ottone *a b* un poco più largo dalla parte superiore, e in cui si inserisce verticalmente una verga, che termina all'estremità superiore con un piccolo disco *m*, per mezzo del quale si può ritirare e rimettere a piacere la verga al suo posto: questa verga stessa passa a traverso della spirale dall'alto in basso senza toccarla, e con l'estremità inferiore è introdotta in un sostegno *c d*, che serve a conservarla in una situazione fissa. All'estremità della spirale è sospeso un ago formato di due parti separate, una delle quali *e f* terminata in punta è attaccata in

(*a*) Questi metalli son posti qui per ordine di dilatabilità, principiando dal più dilatabile.

e alla circonferenza dell'ultima spira, e l'altra parte *gh* fatta a guisa di freccia, termina al punto opposto *g* della stessa circonferenza; e con tal disposizione l'ago prende sempre una direzione perpendicol re a quella della verga, e di più passa costantemente per l'asse della spirale. Questo asse corrisponde verticalmente al centro d'un circolo, sorretto da tre piccoli piedi fissati sopra un pezzo di legno rotondato in forma di cilindro, che serve di base allo strumento, e sul quale è scavata una scanalatura circolare per porvi una campana di vetro, con cui si copre l'apparecchio per salvarlo dalla polvere quando ha servito all'osservazione.

279. La costruzione di questo strumento è fondata sul resultamento della seguente esperienza. Se si saldino insieme alle loro estremità due lastre sottili di metalli di egual lunghezza, ma disugualmente dilatabili, quando cambia la temperatura, una si allungherà più dell'altra, per la qual cosa il sistema prenderà un certo grado di curva, che sarà tanto maggiore quanto sarà maggiore il cambiamento di temperatura; e si curverà da una parte o dall'altra, secondo che la temperatura si eleverà o si abbasserà, sicchè il metallo più dilatabile si troverà ora fuori, ora dentro della curva.

280. Se dunque si curvi una simil lastra a spirale, come ha fatto Breguet, fissando una delle sue estremità a un corpo solido, e fissando all'estremità inferiore un ago che percorra le divisioni di un circolo graduato, il minimo cambiamento di temperatura, facendo subito variare la curva e il diametro delle spire che sono moltiplicatissime, sarà indicato dal moto dell'indice per una parte o per l'altra; e accaderà tanto più prontamente questo effetto, quanto minore è la massa che deve esser penetrata dal calorico, poichè il termometro è tutto in superficie (*a*).

281. Dunque basterebbero ancora due soli metalli disugualmente dilatabili per costruire questo strumento; ma se questi non fossero saldati insieme assai fortemente, e fosse troppa la differenza della dilatabilità di essi, la spirale potrebbe rompersi nel caso d'un improvviso cambiamento di temperatura; al quale inconveniente ha rimediato Breguet, interponendo fra il platino e l'argento un terzo metallo di dilatabilità media, cioè l'oro.

282. L'esperienza prova che l'ago percorre un numero eguale di

(*a*) Si possono disporre a piacere le tre lastre, in modo che la lastra superiore sia quella d'argento o quella di platino: se è quella d'argento, quando si eleva la temperatura, l'ago girerà per il verso delle spire, e se è quella di platino, girerà dalla parte contraria.

Digitized by Google

gradi sul cerchio graduato, per ogni egual cambiamento di temperatura: quindi ognuno può costruirsi una scala, prendendo certi punti fissi nel modo ordinario, o paragonando l'andamento dello strumento con quello d'un termometro a mercurio.

Ecco alcuni fatti dai quali potrà giudicarsi quanto sia sensibile questo strumento.

283. Se si tolga dall'apparecchio la verga che passa a traverso della spirale, e si vada confricando in giro fra le mani, e quindi si ponga di nuovo al suo posto, si vede l'ago muoversi sensibilissimamente, fino a percorrere talora 15°.

284 Breguet pose un termometro a mercurio che indicava 19° C. insieme col suo termometro, sotto il recipiente d'una macchina pneumatica, la capacità del quale era di circa 5 litri, e fatto il voto con la massima prontezza, il termometro a mercurio non scese che 2° C, mentre il termometro metallico passò da 19° C a — 4°: restituita l'aria al recipiente, il termometro metallico si alzò fino a 50° C, mentre l'altro era tuttora un poco sotto lo zero (17).

II. DEI VAPORI, E DELLA LORO MESCOLANZA COI GAS.

285. Non v'è forse un fenomeno così generale e così esteso, quanto la diminuzion di volume che soffrono i liquidi esposti all'aria. Tutte l'acque stagnanti o correnti perdono continuamente una porzione delle proprie molecole, che si staccano da tutti i punti della superficie acquea, sollevandosi nell'atmosfera che ne diviene come il serbatoio. Questo fenomeno che si dice *evaporazione*, è familiarissimo ad ogni momento: e ognuno ha osservato che esso può accelerarsi o col calore o con l'esporre una maggior superficie di liquido all'aria; e che dall'altra parte, per arrestarlo e fissare in qualche modo il volume del liquido, basta chiudere esattamente i vasi che lo contengono

La spiegazione di questo argomento, che nel progresso delle scoperte moderne comprende le mescolanze di tutti i vapori con tutti i

(17) Il Can. Bellani ha osservato che nei termometri a mercurio, con l'andar del tempo, si riconosce un notabile innalzamento della colonna del liquido, come se fosse o cresciuta la massa del metallo liquido, o scemato il volume del tubo. Flogergues attribuì la causa di questo fenomeno alla pressione dell'aria esterna sullo strumento, che deve cedere a motivo del voto interno. Questa opinione è stata contraddetta in principio, ma in seguito è stata confermata a Ginevra da de la-Rive Mareet, i quali hanno trovato che a tempi eguali il termometro era più basso nel voto che nell'aria libera, e più basso in questa che in un'aria condensata. V. Bibl. Univ. T. XXIII. p. 87.

gas, ci sembra che sia opportuna in questo luogo, come un ramo della teoria del calorico, perchè la sola azione di questo fluido serve di fondamento all'ipotesi con cui si spiegano i fenomeni nel modo più veri simile. Ma prima di dare questa spiegazione, convien conoscere i resul tamenti delle osservazioni delle esperienze, fatte da quei fisici che più e con miglior effetto hanno studiato il fenomeno dell'evaporazione, e le circostanze che l'accompagnano.

Effetto costante della formazione dei vapori.

286. In altra circostanza, prendendo l'acqua per esempio, indicammo ciò che accade nella formazion del vapore: vedemmo che a qualunque temperatura si forma una certa quantità di vapore acquoso, le molecole del quale slontanate le une dalle altre dalla forza elastica del calorico, come se si respingessero scambievolmente, si sollevavano nell'aria a traverso degl'immensi interstizii, per i quali essa permette loro il passaggio: dicemmo inoltre che il calorico nel produrre l'evaporazione trova una resistenza per parte dell'aria, ma però fino a un certo termine, passato il quale, vinta totalmente questa resistenza, il liquido passa allo stato di ebullizione, e la temperatura, che fino allora si era alzata a misura che il liquido si riscaldava, si ferma a 80° R o 100° C, sotto la pressione media dell'atmosfera di 76*centim.* o 28*po* (§. 207.).

287. Il vapore però che si forma tranquillamente a tutte le temperature inferiori, non differisce per se stesso da quello che vien prodotto dall'acqua bollente nell'aria libera oppure nel voto, a qualunque temperatura

288. Ma qui si presenta un nuovo punto fisso tanto più notabile, quanto che è uno dei più importanti fondamenti della teoria. La quantità di vapore che si forma in un dato spazio a una data temperatura, è costantemente la stessa, tanto se questo spazio è pieno d'un'aria o d'un gas qualunque, quanto se è voto. Per la qual cosa, secondo le esperienze di Saussure, il vapore che si svolge in un piede cubico d'aria, alla temperatura di 15° R, forma un peso di circa 10 grani: e se si muti la densità di quest'aria, o le si sostituisca un gas, saranno sempre 10 grani d'acqua consumati per formare la quantità di vapore che si spargerà in tutto lo spazio, purchè la temperatura resti sempre a 15° R.

289. Per giungere a veder questo effetto, Saussure si serviva di un globo di vetro, di cui misurava esattamente la capacità: vi introduceva una quantità d'aria che procurava di prosciugare più che poteva, e quindi metteva in quest'aria un pannolino inzuppato d'una quantità d'acqua di cui aveva notato il peso. Poneva ancora nel globo un igrome-

tro (*a*), e quando questo era giunto al massimo grado d'umidità, ciò indicava che l'acqua del pannolino aveva somministrato all'aria quanto vapore poteva essa contenere, a una temperatura indicata da un termometro posto egualmente dentro al globo; dopo di che restava solo a conoscersi la perdita fatta dall'acqua, e dividerla per il numero dei piedi cubici che rappresentava la capacità del globo (*b*).

Era pure nel globo un manometro (c), il quale serviva a provare un fatto non meno importante, cioè che la presenza del vapore accresce l'elasticità dell'aria. Nell'esperienza precedente l'aria prosciugata, con la sua elasticità, faceva equilibrio alla pressione d'una colonna di mercurio di circa 27 pollici; e dopo la formazion del vapore, l'altezza della colonna era di 27*po* e 6 linee. Dalla quale osservazione Saussure conclude, che il vapore sparso nell'aria sulla quale si faceva l'esperienza, era un fluido elastico capace solo di far equilibrio a una pressione misurata dall'aumento di elasticità che esso comunicava all'aria, ossia da sei linee di mercurio, sicchè nel voto l'elasticità del vapore avrebbe fatto realmente salire 6 linee il manometro.

È stato parimente provato con altre esperienze, che il peso dell'acqua consumata per somministrare il vapore, è uguale, in uno stesso spazio, per ogni grado di termometro, qualunque sia la densità dell'aria in cui è sparso il vapore stesso; e la temperatura soltanto stabilisce la quantità di questo vapore, accrescendolo nell'elevarsi, e scemandolo nell'abbassarsi.

290. Qui v'è bisogno d'un poco di schiarimento, per ben compren-

(*a*) Questo strumento che descriveremo in seguito, è destinato a indicare i diversi gradi d'umidità dell'aria, per mezzo di un capello che si allunga, sicchè quando questo allungamento è massimo, indica che l'aria, relativamente all'acqua, è arrivata al grado di saturazione.

(*b*) *Essais sur l'Hygrométrie*, n.° 97 e seg.

(*c*) Questo nome, che è una specie di soprannome dato al barometro, è relativo a un uso particolare di questo strumento. Diremo per ora che il barometro è un tubo di vetro alto circa 80 centimetri o 30 pollici, chiuso all'estremità superiore, e in cui si alza una colonna di mercurio, che vi è sostenuto della pressione che l'atmosfera esercita col suo peso sopra di essa, e questa colonna divien più lunga o più corta, secondo che tal pressione cresce o scema; e di qui nasce il nome di *barometro* che significa *misura del peso*. Che se si supponga il barometro chiuso in uno spazio in cui sia compressa l'aria, questo fluido non premerà più la colonna di mercurio, se non con la sua elasticità, e quindi la colonna diverrà più lunga o più corta, a misura che crescerà o scemerà la forza elastica dell'aria. In questo caso lo strumento prende il nome di *manometro*, che significa *misura della rarità*, perchè l'elasticità dell'aria varia secondo che questo fluido è più o meno raro.

dere questo rapporto fra i gradi della temperatura e le quantità corrispondenti di vapore, che può esser contenuto in un dato spazio. Immaginiamoci che essendo questo spazio in principio pieno d'aria asciutta, sia situato sopra una massa d'acqua, a qualunque temperatura, che sia la stessa relativamente all'aria: appena le molecole dell'acqua si staccano dalla superficie di essa per convertirsi in vapori, le distanze fra ciascuna di esse son sempre minori del raggio della loro sfera d'attività sensibile, e sembra che ancora dopo la formazione di tutto il vapore che può esser contenuto in quello spazio, la quantità di cui esse si slontanano fra loro, sia sempre un poco minore dello stesso raggio. Mentre si forma il vapore, il calorico situato sotto la superficie dell'acqua, tende con la sua elasticità a sollevare lo strato esterno di essa; ma l'effetto di questa elasticità è scemato per causa dell'affinità, che ha lo strato stesso per l'acqua situata inferiormente. Dall'altra parte il calorico interposto fra le molecole del vapore già formato, esercita sopra quelle la sua forza elastica, e l'effetto di questa forza può considerarsi come una pressione esercitata dal vapore sull'acqua tuttora liquida: ma questa medesima forza è scemata essa pure dall'affinità del vapore per essa. Sia C la forza elastica del calorico contenuto nell'acqua. F l'affinità reciproca delle molecole di questo liquido, c la forza elastica del calorico interposto nel vapore, e f l'affinità reciproca delle molecole di questo vapore; potremo rappresentare con $C - F$ la forza del calorico contenuto nell'acqua per produrre il nuovo vapore, e con $c - f$ la pressione che il vapore già prodotto esercita sull'acqua tuttora liquida; ed è chiaro che cesserà la formazion del vapore quando $C - F$, e $c - f$ sieno in equilibrio.

In questo stato di cose supponiamo che la temperatura di tutto il sistema venga elevata d'un certo numero di gradi, e che scemi nel tempo stesso lo spazio che contiene il vapore. L'elasticità del calorico interposto fra le molecole del vapore, trovandosi accresciuta per l'elevazione di temperatura, farà avvicinar le molecole fra loro senza convertirsi in acqua, quantunque in questo caso esse si attraggano scambievolmente con maggior forza; e in conseguenza crescerà la pressione del vapore sull'acqua tuttora liquida, mentre dall'altra parte il calorico contenuto in quest'acqua, tenderà con maggior energia a sollevarne lo strato esterno. Dunque possiamo supporre che la diminuzione dello spazio sia tale, da stabilire un nuovo equilibrio fra le azioni a cui sono sottoposti e l'acqua liquida e il vapore, cioè fra $C - F$, e $c - f$. Che se lo spazio sia costante, mentre si alza la temperatura, si formerà nuovo vapore, le molecole del quale si alterneranno con quelle del primo, finchè la densità sia quale sarebbe stata in caso di scemamento di

spazio, cioè finchè la temperatura nell'elevarsi produca un aumento nella quantità di vapore, che può esser contenuto in un dato spazio.

Le pareti del vaso che contiene il vapore, oppongono alla forza elastica di questo una reazione eguale alla forza del calorico contenuto nell'acqua, meno l'affinità dell'acqua per se stessa: quindi se si suppone che dopo ristabilito l'equilibrio si chiuda affatto il vaso, sussisterà nondimeno l'equilibrio; e in tal caso si riguarda la continuazione del vaso, nel posto che era occupato dall'acqua, come se tenesse luogo dell'ultimo strato di questo liquido.

291. Accaderà lo stesso, se si supponga che questo spazio sia privo di aria, se non che si stabilirà più presto l'equilibrio, perchè più rapida è la formazion del vapore. La resistenza dell'aria non è che un ostacolo in certo modo meccanico, il quale riguardandosi come nullo in tutti i punti, in cui questo fluido lascia libero qualche interstizio, permette che le molecole del vapore si elevino come farebbero nel voto, dimanierachè esse vengono alle stesse distanze fra loro, ed esercitano la stessa pressione sull'acqua tuttora liquida, come se non vi fosse aria. Ciò diverrà ancora più chiaro in seguito.

292. Sia ora cambiato lo spazio, restando ferma la temperatura, e per maggior semplicità figuriamoci che questo spazio pure sia privo d'aria, e che sia occupato soltanto dal vapore. Se venga scemato, per esempio, della metà, le molecole del vapore si avvicineranno fra loro, e quindi si sprigionerà una porzione del calorico interposto fra esse, sicchè queste si ridurranno in acqua. E non è già che la diminuzione di spazio non produca in tutte le molecole una tendenza ad avvicinarsi; ma se questa tendenza avesse il suo effetto, il rimanente dello spazio resterebbe voto, e subito si formerebbe in esso una nuova quantità di vapore, eguale alla metà di quello che occupava in principio tutto lo spazio. Dunque questa quantità di vapore si conserverà, perchè non potrebbe venir distrutta senza subito riprodursi.

Invece di diminuire lo spazio, aumentiamolo ora del doppio: in tal caso l'acqua che supponiamo situata inferiormente, restando sempre alla stessa temperatura, principierà a somministrar nuovo vapore, sicchè la quantità primitiva si troverà essa pure raddoppiata, conservando la stessa densità di prima. Ma se il vapore è trattenuto da tutte le parti mentre cresce lo spazio, le sue molecole si slontaneranno l'une dall'altre per riempirlo, e arriveranno finalmente a tal distanza fra loro, che questa sarà maggiore del raggio della loro sfera di affinità sensibile. E se lo spazio venga ridotto alle sue prime dimensioni, le molecole del vapore si avvicineranno nuovamente fra loro, e torneranno alle primitive distanze reciproche, senza che veruna porzion di vapore si riduca in acqua;

e infatti, perchè accadesse questo, bisognerebbe che lo spazio scemasse in un rapporto maggiore di quello del suo aumento precedente.

293. In tal modo deve intendersi, che lo slontanamento fra le molecole del vapore sparso in un dato spazio, è minore del raggio della loro sfera di affinità sensibile, ogni qualvolta la quantità di questo vapore è eguale a quella che può liberamente formarsi nel medesimo spazio. Questo termine può riguardarsi come quello della saturazione dello spazio supposto, o dell'aria che esso contiene, per il grado al quale si eleva la temperatura del vapore; e in tal caso questo vapore è stato chiamato *vapore nascente*, per distinguerlo dal vapore propriamente detto, le molecole del quale essendo fra loro a una distanza maggiore del raggio della sfera loro d'affinità sensibile, non son più sottoposte ad altra forza se non a quella dell'elasticità del calorico.

Legge della dilatazione dei gas, per la loro unione con i vapori.

294. Da quanto abbiamo detto si può concludere, che una massa d'aria saturata d'acqua in vapore a 15°, richiede una pressione di pollici 27 $\frac{1}{10}$, per proseguire a star rinchiusa nello spazio in cui poteva prima esser tenuta da una pressione di 27*pol.* Figuriamoci dunque che essa non sia ancora caricata che di quest'ultima pressione: in tal caso l'aria che è crescinta di forza elastica nell'unirsi col vapore, soffrirà una dilatazione che farà crescere il suo volume, finchè la sua elasticità sia ridotta a non poter più sostenere se non la pressione di 27 pollici di cui è aggravata.

295. Queste osservazioni ci conducono ad esporre una serie di ricerche fatte da Dalton, e che danno moltissima estensione a quelle di Saussure, nelle quali Dalton studiava di determinare la quantità di cui i gas si dilatano nell'unirsi ai vapori, giacchè in questo caso il fenomeno che si osserva nell'aria, non è che una modificazione particolare d'una legge comune, alla quale son sottoposte tutte le sostanze gassose; dimanierachè questo fluido, dopo esser stato l'unico soggetto delle esperienze di questo genere, non ha più nulla di particolare, se non la facilità d'esser preso per esempio.

296. Ecco il problema che Dalton si propone di sciogliere: data una massa di qualunque gas, sottoposta a una data pressione, e situata sopra un liquido di data temperatura; data parimente la forza del vapore prodotto dal liquido a questa temperatura medesima, si cerca in qual rapporto crescerà il volume del gas, nel venir mescolato col vapore.

297. Nell'esperienze relative a questo argomento (*a*), Dalton si serve d' un tubo retto di vetro, chiuso a una estremità, e diviso in parti eguali: versa nel fondo del tubo alcune gocce del liquido che vuol sottoporre all'evaporazione, e introduce nel tubo stesso un gas, e lo carica di una colonna di mercurio più o meno alta, secondo il soggetto che egli si propone di osservare; quindi immerge l'estremità chiusa del tubo in un'acqua di nota temperatura, e dall'ascensione della colonna di mercurio rileva di quanto si è dilatato il gas, a misura che il vapore con la sua azione ne slontana le molecole.

298. Figuriamoci che la pressione a cui in principio fa equilibrio l'elasticità del gas, che supporremo esser l'aria comune, sia eguale a quella d'una colonna di mercurio di 27 pollici, e che il vapore, che sarà per esempio quello dell'acqua, sia capace di sostener solo una pressione di 6 linee, il tutto a una temperatura di 15° R. A misura che il vapore si eleverà nell'aria, l'aria stessa si dilaterà, e finchè dura questa dilatazione, si formerà una nuova quantità di vapore, proporzionata all'aumento di volume, di maniera che la forza elastica del vapore sarà costantemente eguale a una pressione di 6 linee; e quando cesserà la dilatazione l'elasticità dell'aria, scemata da questa dilatazione medesima, unita all'elasticità costante del vapore, farà nuovamente equilibrio alla pressione di 27 pollici; cioè l'elasticità dell'aria che prima era espressa da questa stessa quantità di 27 pollici, ora sarà espressa da 26 pollici e 6 linee Dunque poichè i volumi sono in ragione inversa delle forze d'elasticità, il volume dell'aria dopo la dilatazione starà al volume primitivo, come 27 sta a 26 $\frac{1}{2}$, o come 54 a 53, ossia, come la forza d'elasticità dell'aria nel suo primitivo stato, sta alla differenza fra questa medesima forza e quella del vapore (*b*). Questo è il resultamento a cui conduce l'esperienza di Saussure.

Supponiamo che la pressione da cui è aggravato il gas, o la forza

(*a*) *Bibl. Brit.* n.° 160, vol. XX, p. 338 e seg.

(*b*) Sia P la pressione che l'aria sosteneva prima dell'esperienza, ossia la forza d'elasticità che allora aveva l'aria; P' la pressione che il solo vapore può sostenere, o la sua forza d'elasticità; V il volume primitivo del gas, e V' il suo volume dopo la dilatazione: in questo caso la forza elastica dell'aria sarà ridotta a P — P'; e poichè i volumi sono reciproci alle forze di elasticità, si avrà $V' : V :: P : P - P'$, e di qui si ha $V' = \frac{V\,P}{P - P'}$, e $V' = V + \frac{V\,P'}{P - P'}$, che è la formula di Dalton. Così se sia $V = 1$, $P = 27$, $P' = \frac{1}{2}$, si avrà $V' = \frac{27}{27 - \frac{1}{2}} = \frac{54}{53}$.

elastica di questo gas prima dell' esperienza, non sia che di 20 pollici, e che quella del vapore sia di 10 pollici; il volume del gas dopo la dilatazione starà al volume primitivo, come 20 sta a 20 — 10, o come 20 a 10, cioè il volume del gas sarà divenuto doppio.

Quando la forza costante del vapore è uguale alla forza primitiva del gas, distrugge ad ogni momento l' effetto della pressione che sosteneva il gas, sicchè la dilatazione non ha più limiti, e si estende all' infinito (*a*).

299 Da quanto abbiamo detto si rileva, che nell' unione di un vapore con un gas, l' elasticità della mescolanza è la somma delle elasticità dei componenti, se ognuno di essi occupava solo lo spazio empito dalla mescolanza. Così nell' esperienza di Saussure (§ 289.), l' elasticità della mescolanza espressa da 27, è composta di una forza espressa da 26 $\frac{1}{2}$, che è quella dell' aria, relativamente al suo stato presente di dilatazione, e di un' altra forza espressa da $\frac{1}{2}$, che è quella del vapore, sparso nel medesimo spazio.

Gravità specifica del vapore paragonata a quella dell' aria.

300. Sviluppiamo un poco più il resultamento citato, per dedurne la spiegazione d' un fatto osservato da alcuni fisici, cioè che la gravità specifica dell' aria scema a misura che questo fluido si scarica d' una maggior quantità di vapore. Abbiamo detto (§. 289.) che quello che è sparso in un piede cubico alla temperatura di 15°, forma un peso di 10 grani, e che nel tempo stesso la sua elasticità fa equilibrio a 6 linee di mercurio; ed abbiamo detto egualmente che un piede cubico d' aria, che alla stessa temperatura sostiene una pressione di 27 pollici, pesa 751 grani. Se ora quest' aria non debba sostenere che una pressione di 6 linee, si dilaterà in uno spazio che starà allo spazio primitivo come 27 pollici a 6 linee, o come 54 a 1; e poichè in masse uguali le densità sono in ragione inversa dei volumi, la densità dell' aria dopo la dilatazione non sarà più che $\frac{1}{54}$ della sua densità primitiva; e quindi il peso di un piede cubico di quest' aria dilatata sarà $\frac{751}{54}$ grani, o quasi 14 grani: dunque la gravità specifica dell' aria sta a quella del vapore, come 14 sta a 10, supposto sempre che per una parte e per l' altra sia eguale la temperatura e la pressione (*b*): dal che concluderemo che quando l' aria

(*a*) In questo caso $P = P'$ e la formula diventa $V' = \frac{P}{0}$, quantità infinita.

(*b*) *Essais sur l'Hygrométrie*, n.° 288.

si dilata per la mescolanza d'un vapore con essa, il suo volume cresce in un rapporto maggiore di quello dell'aumento della massa. Newton nelle sue *Questioni di ottica*, opera piena di ricchissime idee, che sono come germi preziosi che dovevano poi svilupparsi in altri tempi, osserva che la vera aria è più pesante dei vapori, e che un'atmosfera umida è più leggiera d'un'egual quantità d'aria asciutta (*a*).

Conformità della teoria con l'osservazione sulla capacità dell'aria per il vapore.

301. Saussure con una osservazione immediata aveva trovato quanto vapore era contenuto in un piede cubico d'aria, alla temperatura di 15°. Laplace pensò di poter considerare questa medesima quantità come l'incognita d'un problema, tendente a trovare il valore di essa, prendendo per dato l'effetto trovato da Gay Lussac, relativamente alla dilatazione dei fluidi elastici.

Il vapore contenuto in un piede cubico d'aria a 15° del termometro, è nello stato stesso in cui si troverebbe se occupasse solo questo spazio sotto la pressione di 6 linee di mercurio, e alla stessa temperatura (§. 289.). Si sa peraltro che a una temperatura di 80°, e sotto una pressione di 28pº di mercurio, il vapore dell'acqua è circa 1600 volte più leggiero dell'acqua liquida, un piede cubico della quale pesa 70 libbre; e quindi un piede cubico di vapore acquoso a 80° e sotto una pressione di 28 pollici, è libbre $\frac{70}{1600}$. Che se questa quantità di vapore, restando sempre a una temperatura di 80°, non sostenga più che una pressione di 6 linee, il suo nuovo volume starà al volume primitivo, nel rapporto inverso delle pressioni, cioè come 28 pollici a 6 linee, o come 56 a 1: dunque dopo la dilatazione un piede cubico di questo vapore peserà soltanto libbre $\frac{70}{56 \cdot 1600}$ ossia $\frac{1}{1600}$.

Ma essendo calcolato questo volume sulla supposizione di una temperatura di 80°, bisogna ridurlo a quello che sarebbe stato a una temperatura di 15°, che è quella del vapore dell'acqua nell'esperienza di Saussure. E Gay-Lussac infatti ha trovato che i gas si dilatano $\frac{4}{111}$ del proprio volume (§. 250.), passando dalla temperatura del ghiaccio a quella dell'acqua bollente; e quindi contentandoci di un'approssimazione, potremo supporre la dilatazione di $\frac{1}{111}$ del volume per ogni grado di calore Dunque il volume di una quantità di vapore alla temperatura di 15° sta a quello di un'egual quantità a 80°, come $1 + \frac{15}{111}$ sta a $1 + \frac{80}{111}$, o come 228 a 293: dunque poichè le densità sono in

(*a*) *Optica lucis, lib. III, quaest.* 31.

ragione inversa dei volumi, per una stessa quantità di materia; la densità del vapore a 15° sta a quella del vapore a 80°, come 293 sta a 228: dunque finalmente, poichè a egual volume i pesi sono proporzionali alle densità, il peso di un piede cubico di vapore a 15° starà a $\frac{1}{1,280}$ di libbra, che è il peso del volume stesso a 80°, come 293 a 228, lo che dà per il peso di un piede cubico di vapore a 15°, libbre $\frac{293}{228.1280}$, ossia 98r in circa (*a*), espressione poco differente da quella trovata da Saussure. Tale è il vantaggio delle esperienze, prese ancora separatamente, che quando sono ben fatte, non resta che fissare la teoria per collegarle tutte con essa.

Differenza fra l' effetto della pressione sul vapore quando questo è solo, e quando è unito con l' aria.

Passiamo ora a paragonare gli effetti della pressione relativamente al vapore considerato nel voto, con quelli che si osservano quando è unito con l' aria, e questo paragone ci condurrà al punto da cui la teoria deve, per così dire, afferrare questo soggetto delicato, per tentare di scoprire la causa dei fenomeni che esso ci presenta.

302. Supponiamo dunque primieramente un vapore contenuto in uno spazio privo d' aria, e aggravato dalla pressione a cui la sua elasticità può fare equilibrio con la sua temperatura. Se si accresca la pressione, e se la causa che la produce operi a guisa di stantuffo, le molecole del vapore si avvicineranno successivamente l' une all' altre, a misura che scemerà lo spazio, e il vapore si ridurrà tutto in acqua.

Nello stesso caso se a un certo punto si arresti la pressione in modo da scemare lo spazio, per esempio, della metà, una sola metà del vapore si ridurrà in acqua, e l' altra metà resterà alla stessa tensione nel rimanente dello spazio, dove non è arrivata la forza della pressione (§. 292.).

303. Laplace e Lavoisier, per dimostrare con qual forza l' etere si dilata evaporando nel voto, fecero un' esperienza dalla quale resultano distintissimi gli effetti sopra citati. Fra i varii modi di ripetere questa esperienza, uno dei più semplici è quello usato da Van-Marum (*b*). Si

(*a*) Si veda nel Bullettino delle Scienze della Società filomatica, Ventoso, an. XI, p. 189, un articolo di Biot, in cui questo dotto geometra, dopo avere esposti i resultamenti e la teoria di Dalton, dà il calcolo relativo a questa approssimazione.

(*b*) *Description de quelques appareils chimiques*, ec. Harlem, 1798 p. 97 e seg.

prende un tubo da barometro, e si empie di mercurio, quindi se ne levano circa due linee, e si riempie questo spazio col liquido di cui si vuol provare la dilatazione, e poi si rovescia il tubo, tenendo un dito applicato all'orifizio aperto. Intanto il liquido monta a traverso della colonna di mercurio, e va a situarsi all'estremità superiore del tubo, e allora si immerge l'estremità del tubo stesso in un bagno di mercurio, si fissa in una situazione, e si ritira il dito. Subito la colonna che occupa il tubo tende naturalmente a scendere, finchè il suo peso sia in equilibrio con la pressione dell'atmosfera; e appena comincia a formarsi il voto sopra la sua superficie superiore, il liquido passa o tutto o in parte allo stato di vapore. Il qual vapore, premendo con la sua elasticità la colonna del mercurio, accresce un nuovo sforzo a quello che essa fa col suo peso, dimanierachè ella divien più corta che nel barometro ordinario. Van Marum ha osservato che a una temperatura di 10° R, questo abbassamento è di pollici 12 $\frac{1}{2}$, o 34 centimetri in circa. Nel medesimo caso il vapore acquoso fa scendere il mercurio $\frac{4}{7}$ di pollice, o circa 11 millimetri.

Se si immerga più profondamente il tubo nel mercurio, poichè la colonna interna di questo metallo resta di egual lunghezza, lo spazio che contiene il vapore anderà sempre scemando, e tutte le molecole di esso perderanno successivamente lo stato elastico, sicchè in ultimo non resterà che un liquido fra la colonna del mercurio e l'estremità superiore del tubo.

304. Figuriamoci ora che una mescolanza d'aria e di vapore venga sottoposta primieramente a tanta pressione, quanta ne può sostenere la sua elasticità, e che quindi questa pressione venga accresciuta: in questo caso il volume dell'aria si ristringerà, e la porzion di vapore che occupava lo spazio abbandonato da quest'aria, si convertirà in acqua. Ma poichè l'aria è un fluido permanente, che non può esser condensato da veruna forza conosciuta, in modo da far cedere all'affinità delle sue molecole la forza elastica che esercita il calorico per slontanarle, la compressione si arresterà da per se quando sarà equilibrata dall'elasticità dell'aria condensata, unita a quella del vapore, il quale avrà conservato il suo stato e la sua tensione nello spazio in cui si trova confinata l'aria.

Per fissar meglio le nostre idee, figuriamoci che il vapore solo abbia una forza elastica misurata da una pressione di 38 centimetri, o 14 pollici, e che lo stesso sia dell'aria, nel primo momento in cui la pressione non è stata ancora accresciuta: questa pressione alla quale in tal caso fa equilibrio la mescolanza, è di 76 centimetri o 28 pollici. Ma se si separassero i due fluidi, questa pressione ridurrebbe l'aria alla metà del suo

volume, e si arresterebbe quando l'elasticità dell'aria essendo diventata doppia, con la sua densità opponesse alla pressione una resistenza equivalente: dall'altra parte la stessa pressione esercitando sul vapore un'azione continua, lo convertirebbe interamente in acqua. Ma quando i due fluidi sono uniti, se questa unione non consistesse che in una semplice soprapposizione delle loro molecole, in modo da poter essi esistere nel medesimo spazio, indipendentemente l'uno dall'altro, e senza esser collegati fra loro da veruna azione scambievole, ciascuno di essi opporrebbe alla pressione di 76 centimetri la sola forza repulsiva delle sue proprie molecole, la quale non è che di 38 centimetri, e così l'aria si comprimerebbe finchè fosse ridotta alla metà del suo volume; nel tempo stesso la metà del vapore si ridurrebbe in acqua, e l'altra metà tornerebbe allo stato liquido, solamente perchè sarebbe in certo modo protetta dall'aria, che con la sua elasticità opporrebbe un ostacolo alla diminuzione dello spazio. Eppure accade tutto il contrario, e la mescolanza fin dal primo momento sostiene la pressione di 76 centimetri, senza che veruna porzione di vapore si riduca in acqua; e perchè accadesse questo, bisognerebbe accrescere la pressione, come già abbiamo detto. Dunque in qual modo, nel caso presente, l'aria e il vapore esercitano l'uno sull'altro un'azione reciproca, e qual parte in generale ha l'aria nell'evaporazione? È questa la gran difficoltà, nello scioglimento della quale i fisici non si son trovati ancora d'accordo, quantunque l'abbiano tanto profondamente studiata.

Teoria di Leroi sull'evaporazione.

305. Se vogliamo richiamare alla memoria le più antiche opinioni che sono state emesse su questo proposito, troviamo che tutte tendevano a riguardare il fuoco come la causa principale del fenomeno dell'evaporazione. Alcuni credevano che le molecole dell'acqua minutamente divise dal fuoco, e quindi cresciute notabilmente di superficie, relativamente al loro volume, passassero a uno stato da poter esser assorbite con la massima facilità dall'aria, la quale le urtava e le avvolgeva intorno a certe piccole spirali di cui si credeva composta: altri pensavano che il fuoco dilatando le molecole dell'acqua, le rendesse specificamente più leggiere dell'aria, sicchè l'ascensione loro nell'aria stessa non era per quei fisici che un ordinario fenomeno di idrostatica.

In mezzo a tal contrasto d'opinioni, Muschenbroeck fu il primo a scoprire la vera causa di questo fenomeno nei principii della dissolu-

zione dell'acqua per mezzo dell'aria (*a*); ma egli però non fece che accennare quest'idea, la quale per Leroi di Montpellier diventò la base di una nuova teoria dell'evaporazione; e fu tanto più volentieri adottata, quanto che oltre l'aver essa una ragione molto verisimile di analogia, tendeva a sottoporre all'universal potere dell'attrazione uno dei più importanti fenomeni della natura (*b*).

306. Ecco a che si riduce tutta la dottrina di questo fisico: l'aria scioglie l'acqua nello stesso modo e nelle stesse circostanze in cui l'acqua scioglie i sali; sicchè, come l'acqua nel riscaldarsi scioglie una nuova quantità di sale, e nel raffreddarsi ne abbandona una porzione di quello che teneva in dissoluzione, così l'aria quanto più si riscalda o si raffredda, tanto ha più o meno bisogno d'acqua per giungere al suo grado di saturazione.

Naturalissime e giornaliere erano l'esperienze che avevano indotto Leroi ad adottare questo principio, le quali però benchè mille volte vedute, non erano mai state osservate da nessuno.

307. Pose egli sulla finestra una boccia di cristallo perfettamente chiusa, mentre la temperatura era di 20° sopra lo zero del termometro diviso in 80°. Dopo qualche tempo il termometro essendo sceso nella notte a 15°, Leroi si accorse che una porzione dell'acqua contenuta nell'aria di cui era piena la boccia, si era depositata in forma di gocce sulle sue pareti superiori, le quali, come più esposte all'aria, avevano dovuto raffreddarsi le prime; e sceso quindi il termometro a 6°, questa specie di rugiada divenne assai più abbondante; ma nel giorno l'aria riscaldandosi, scioglieva l'acqua che si era precipitata nella notte. Quest'aria rappresentava tutto il resto dell'atmosfera, e la boccia su cui si faceva l'esperienza, indicava ciò che accadeva in qualunque altro punto dell'atmosfera medesima, quantunque ciò non apparisse all'occhio. Questa esperienza ripetuta e variata con la massima attenzione, perchè fosse decisiva, ha prodotti costantemente analoghi effetti.

Leroi ha cercato quindi il mezzo di stabilire il grado di saturazione dell'aria, relativo a uno stato dato dell'atmosfera. A tal oggetto, in un gran bicchiere di cristallo ben asciutto al di fuori, versava acqua tanto fredda, da produrre sulle pareti esteriori, raffreddate dalla vicinanza di quest'acqua, un precipitato di quella che era tenuta in dissoluzione nell'aria circostante; e ad ogni mezzo grado d'elevazione di temperatura dell'acqua, ne versava una porzione in un altro vaso, e osservava

(*a*) *Essais de Physique*, Leyde, 1751, t. II., p. 721.
(*b*) *Mélanges de Physique et de Médecine*, p. 1. e seg.

quando questo precipitato veniva a cessare; e questo termine indicava il grado di saturazione dell'aria. In tali esperienze ha potuto osservare, che la direzione e la forza del vento facevano variare notabilmente il grado di saturazione, il quale era più basso a un vento di Nord che a un vento di Nord-ovest; e che in tutti e due i casi la forza del vento contribuiva ad abbassarlo ancora di più.

308. Ma questo paragone fra la maniera con cui l'aria scioglie l'acqua, e quella con cui l'acqua scioglie i sali, quantunque sia abbastanza esatto, non è però esattissimo sotto tutti gli aspetti. Fra questi due fenomeni passa questa differenza, che un sale nello sciogliersi nell'acqua, passa dallo stato solido allo stato liquido, dimanierachè la sua gravità specifica non varia notabilmente; mentre l'acqua nell'evaporare, passa dallo stato liquido allo stato di fluido elastico, e però scema di densità in un rapporto maggiore di 1000 a 1; e in riguardo appunto di questa differenza, è stata modificata questa teoria dai fisici che l'hanno adottata.

309. Quando comparve questa teoria, era tuttora ignoto che la quantità di vapore che si forma nell'aria a una data temperatura, è eguale a quella che in uno spazio eguale e alla stessa temperatura si formerebbe nel voto; come pure nessuno fino allora aveva osservato, che il vapore che si forma a qualunque temperatura sotto il grado dell'ebullizione, non differisce che in densità da quello che si forma insieme con l'ebullizione stessa. Tanto questo vapore, quanto quello che nasce nel voto, non poteva esser prodotto che dalla forza elastica del calorico, che discostava tanto le molecole dell'acqua, da rendere quasi nulla la loro affinità in paragone di questa forza. Fu dunque concluso da queste osservazioni, che il calorico il quale era causa di tutto questo, in mancanza dell'aria, o quando la temperatura del liquido su cui riposava l'aria era al grado d'ebullizione, concorreva con questo ultimo fluido all'evaporazione ordinaria. Secondo l'opinione di Saussure, l'aria non principiava neppure a sciogliere l'acqua, se non quando l'azion del calorico l'aveva convertita in fluido elastico (*a*); quindi l'aria che per una parte si opponeva con la sua pressione alla forza d'elasticità del calorico, per ridurre l'acqua in vapore, dall'altra parte la secondava con l'affinità che esercitava su questo liquido.

In questa medesima ipotesi il vapore, mentre era attratto dall'aria, tendeva con la propria elasticità a slontanarne le molecole, finchè la perdita di elasticità che faceva l'aria in questo slontanamento, fosse eguale all'elasticità costante del vapore, e quindi in virtù di tal com-

(*a*) *Essais sur l'Hygrométrie*, n.° 191.

pensazione tornasse a stabilirsi l'equilibrio con la pressione dell'atmosfera. E appunto per l'affinità dell'aria col vapore, questo non era soggetto agli effetti della pressione, in virtù della quale, senza queste circostanze, avrebbe esso dovuto passare, almeno in parte, allo stato liquido (§. 302.).

310. Non può negarsi che la teoria di Leroi, così modificata, non faccia concepire più facilmente i fenomeni: frattanto, considerandola attentamente, non si scorge in essa veruna idea di affinità. Ognuno sa che l'azione di questa forza si modifica in diverse maniere, e cambia al cambiar della natura delle sostanze che l'esercitano. Come dunque conciliare con queste variazioni l'uniformità che esiste nella quantità di vapore di cui si saturano tutti i gas, a eguaglianza di temperatura e di spazio, specialmente se si osserva che questa quantità è eguale a quella, che in circostanze eguali si formerebbe nel voto in virtù della sola azion del calorico?

Teoria di Deluc e di Dalton.

311. Dopo le riflessioni che abbiamo fatte, non ci maraviglieremo che alcuni fisici non abbiano presa in considerazione in verun modo l'affinità nelle loro teorie, ed abbian tutto riferito all'elasticità tanto dell'aria quanto del vapore. La prima teoria che sia comparsa in questo genere è stata quella di Deluc, il quale è d'opinione che l'evaporazione sia prodotta unicamente dal fuoco, che unendosi al liquido, lo trasporta con se sotto la forma di fluido espansibile (*a*). Le particelle di questo fluido si mescolano con quelle dell'aria, e così contribuiscono per parte loro a sostenere la pressione dell'atmosfera, come se fossero altrettante particelle d'aria appartenenti alla medesima massa; se non che non potrebbero esse avvicinarsi fra loro al di là d'un certo termine, che dipende dalla temperatura, senza che se ne scomponesse una porzione per convertirsi in acqua; ma l'aria con cui son mescolate, e in mezzo alla quale esercitano la forza loro espansiva, come se fossero nel voto, impedisce loro di avvicinarsi in tal modo (*b*).

312. Dalton ha trattato questo argomento in un modo poco dissimile da quello di Deluc. Egli crede che quando un vapore qualunque, come quello dell'acqua, si mescola, per esempio, con l'aria atmosferica, le molecole di ciascun fluido si respingono scambievolmente, senza esercitare veruna azione su quelle dell'altro fluido. In tal maniera, nel mo-

(*a*) *Introduction à la Phys. terrestre*, p. 1, p. 335.
(*b*) *Ibid.*, t. 1, p. 399

mento in cui si forma la mescolanza, l'elasticità del vapore alleggerisce l'aria di una porzione della pressione che sosteneva; dunque quest'aria si dilata per l'eccesso della sua forza elastica, finchè la porzione che le ne resta, unita all'elasticità del vapore, sia in equilibrio con la pressione. In questo stato di cose, le molecole dei due fluidi operano come opererebbero piccole molle di due specie, alternate l'une con l'altre, in modo che quelle di ciascuna specie esercitassero separatamente le proprie forze. Se alcune molecole di uno dei fluidi provano una resistenza per parte delle molecole dell'altro, non è che una resistenza, per così dire, di incontro, simile a quella che provano due corpi solidi nell'urtarsi, e che quindi non può esistere che accidentalmente per un proseguimento di contatto.

Le maggiori opposizioni che possa far la chimica a questa dottrina, nella supposizione che l'aria disciolga l'acqua, hanno servito a Berthollet per difendere a questo proposito i diritti dell'affinità, nella bell'opera in cui ha presentata la teoria di questa forza in una maniera totalmente nuova, degno parto del suo ingegno sublime (*a*). Ma poichè questa ipotesi non è neppur essa superiore ad ogni obiezione (§. 305.), deve piuttosto cercarsi nella fisica ciò che può far rilevare la maniera di vedere dei due autori su questo proposito. Per la qual cosa noi osserveremo soltanto, che la teoria di Dalton, lungi dallo spiegare in qual modo il vapore può resistere alla pressione che tende a convertirlo in acqua, ci fa anzi rilevare maggiormente la difficoltà, presentandoci le azioni dell'aria e del vapore come assolutamente separate l'una dall'altra. In quanto poi a Deluc, l'espressione di mescolanza con cui egli indica l'unione del vapore con l'aria, occulta la difficoltà piuttosto che scioglierla.

Teoria di Laplace.

313. Oltre le due citate ipotesi ve n'è un'altra, che è frutto delle meditazioni del famoso Laplace, la quale consiste nel considerare il vapore unito all'aria, come se esercitasse su questa, e provasse esso pure la stessa azione repulsiva d'una nuova massa d'aria, che in circostanze eguali avesse la stessa elasticità e la stessa densità del vapore.

Figuriamoci per esempio un cilindro d'aria sottilissimo, che si riduca a una semplice fila di molecole di questo fluido; e supponiamo che a una temperatura, per esempio, di 20°, le molecole contigue si

(*a*) *Essai de Statique chimique, première partie*, p. 485. e seg.

respingano con una forza capace di far equilibrio a una pressione di quattro decimetri di mercurio. Figuriamoci dall'altra parte una fila di molecole di vapore della stessa lunghezza della precedente, e capace di sostenere la stessa pressione di quattro decimetri, essendo pure questo vapore alla temperatura di 20°. Se supponiamo eguale il numero delle molecole da una parte e dall'altra, tutta la differenza consisterà nell'essere meno dense quelle del vapore, poichè la gravità specifica di questo, a eguaglianza di temperatura, è minore di quella dell'aria (§. 300).

Quando diciamo che le molecole dell'aria e quelle del vapore si respingono, non è questa che una maniera compendiosa di esprimere, che le molecole del calorico interposte fra le une e fra l'altre, operano come altrettante piccole molle tese, per slontanarle maggiormente fra loro; poichè l'effetto di quest'azione elastica equivale a una repulsione scambievole, di cui esistesse la causa nelle molecole medesime.

Se si inseriscano ora le molecole del vapore ad una ad una fra quelle dell'aria, è chiaro che due molecole vicine, una d'aria, l'altra di vapore, si respingeranno scambievolmente con una forza doppia della prima, dimanierachè la mescolanza sarà capace di sostenere una colonna di mercurio di otto decimetri di altezza, senza che le molecole del vapore possano avvicinarsi. Infatti, quantunque esse sieno tuttora alle stesse distanze fra loro, in cui la repulsione loro scambievole non è misurata che da quattro decimetri, l'azione repulsiva che le molecole dell'aria esercitano sopra di esse, le mantiene nella stessa situazione di prima, e le sottrae all'effetto della pressione, che senza la presenza dell'aria ne ridurrebbe in acqua una porzione. In questa mescolanza l'intervallo fra ciascuna molecola d'aria e la molecola vicina di vapore, sarà del pari occupato da una piccola quantità di calorico, l'azione del quale per allontanarle l'una dall'altra è ciò che chiamiamo *repulsione*.

Accaderà lo stesso relativamente a una massa d'aria mescolata col vapore, supposte eguali tutte le circostanze. Una molecola di vapore situata in qualunque punto della massa, sarà circondata di molecole d'aria opposte a due a due, sopra direzioni che passeranno tutte per questa molecola, sicchè essa sarà difesa da ogni parte contro la pressione che la farebbe avvicinare ad altre molecole, se restasse abbandonata a se stessa.

314. Si può supporre che l'elasticità del vapore sia diversa da quella dell'aria: per esempio, nell'esperienza di Saussure (§. 289), essa ne è soltanto la 53ma parte, a eguaglianza di temperatura. In tal caso le molecole del vapore si conservano sempre in mezzo a quelle dell'aria egualmente distanti fra loro, come quando esistevano sole in uno spazio eguale a quello che occupa la mescolanza, e le molecole dell'aria si

avvicinano in tal modo, che la lor forza repulsiva scambievole, paragonata con quella dell'aria pura, si trova accresciuta nel rapporto di 53 a 54; e poichè esse esercitano sulle molecole del vapore, e dal canto loro soffrono azioni eguali a quella di questa medesima forza, ne segue che l'elasticità della mescolanza è sempre la somma delle elasticità che avevano i due fluidi, quando esistevano separatamente. Quindi chiaro apparisce, in qual modo l'azione repulsiva delle molecole dell'aria su quelle del vapore, abbia essa pure il suo effetto per opporsi alla riunione di quelle.

Il vapore, quale lo consideriamo in questo caso, è nello stato di vapore nascente (§. 293), cioè le sue molecole hanno fra loro una distanza un poco minore del raggio della sfera loro di affinità sensibile. Non è lo stesso delle molecole dell'aria considerate fra loro, poichè le loro distanze scambievoli son maggiori del raggio della sfera loro di affinità sensibile, e lo stesso deve dirsi relativamente alla distanza che separa ciascuna molecola di vapore dalla molecola d'aria vicina; e il raggio della sfera d'affinità sensibile dell'aria per il vapore è così piccolo, che è minore della distanza di cui parliamo. Così supponendo che scemasse lo spazio, le molecole del vapore verrebbero ad avvicinarsi, e quindi le attrazioni loro scambievoli trovandosi accresciute, ne farebbero tornare una porzione allo stato liquido, e in quanto al resto, tutto accaderebbe come se non esistesse aria nello spazio occupato dal vapore (§. 292.).

315. Ciò che abbiamo detto delle molecole d'aria e delle molecole acquose, si applica egualmente a tutti i corpi, che passando allo stato di gas o di vapore, divengon capaci di respingersi scambievolmente, in circostanze simili a quelle che abbiamo citate. V'è però qualche caso in cui i fluidi che si mescolano, nel combinarsi cedono anzi all'affinità loro scambievole; e questo effetto che a prima vista non sembra che si combini con la teoria precedente, ne è anzi un corollario. Si sa per esempio, che quando si forma una mescolanza di gas nitroso e d'aria atmosferica, il volume della mescolanza scema, nel tempo stesso in cui l'aria assorbisce il gas nitroso. Ora se supponiamo che i due fluidi restino per un momento nello stato loro primitivo, le molecole di ciascuno, considerato separatamente, si troveranno fra loro a una distanza maggiore del raggio della sfera loro di affinità sensibile per se stesse; ma saranno tali le situazioni scambievoli in cui si saranno poste le molecole dei due fluidi nel mescolarsi, che la distanza fra ciascuna molecola d'aria e la vicina molecola di gas nitroso, sarà minore del raggio della sfera d'affinità sensibile dell'aria per l'altro principio; e per effetto di tal differenza, l'affinità crescerà in forza a tal segno, da produrre

la combinazione dei due gas, e l'assorbimento che ne è la conseguenza. Sarà facile l'estendere questa spiegazione ad altri casi analoghi, e ridurre tutte le diversità che si osservano nei fenomeni di questo genere, a quella che esiste nel rapporto fra l'intervallo, al di là del quale si riguarda come distrutta l'attrazione delle molecole di un principio su quelle dell'altro, e l'intervallo che la forza elastica del calorico mette fra esse.

II. DELLA COMBUSTIONE.

316. Quantunque la teoria della combustione sia fondata sulle leggi alle quali son soggette le azioni chimiche, pure non possiamo a meno di non dar qui in breve la storia della sua origine, e dei progressi che le hanno fatto fare i chimici moderni, perchè questa storia appartiene in qualche modo a quella della Fisica. La combustione presenta in generale l'aspetto di un corpo che si dissipa, producendo ciò che comunemente si chiama *calore* e *luce*. Nel linguaggio volgare, *fuoco* e *combustione* son quasi sinonimi l'uno dell'altro; ma nell'idee degli antichi filosofi il fuoco era l'agente della combustione: lo riguardavano essi come un principio fisso nei corpi, e che sviluppandosi produceva la dispersione delle molecole della sostanza abbruciata; e a questo principio appunto Stahl aveva dato il nome di *flogisto*. La maniera con cui i seguaci di questo famoso fisico spiegavano la combustione, era tanto più seducente, quanto che la causa da cui si faceva dipendere questo fenomeno, appariva sotto l'aspetto di una causa meccanica. Le molecole del fuoco elementare erano come inviluppate fra quelle dei corpi, fra le quali provavano una compressione simile a quella d'una molla tesa. Nella combustione, il fuoco sfuggendo in virtù della sua forza espansiva dalle particelle da cui cominciava la deflagrazione, imprimeva alle particelle vicine una scossa che produceva la rottura di quelle, e faceva sprigionare da esse quel fuoco che ritenevano in se; e in tal maniera questa scossa, e in conseguenza l'abbruciamento, si andava a poco a poco comunicando a tutta la massa. L'aria contribuiva a mantenere e ad accelerare l'azione del fuoco, opponendo alla sua dissipazione un ostacolo che concentrava la sua azione in un minore spazio, e ne accresceva l'energia.

Le scoperte dei chimici moderni, e principalmente quelle dell'illustre Lavoisier, hanno mostrato la combustione sotto un aspetto totalmente diverso, facendo consistere questo fenomeno in una combinazione delle molecole proprie di un corpo con quelle dell'ossigene, che esso prendeva dall'aria circostante, accompagnata dallo sprigionamento della luce e del calorico, che ritenevano l'ossigene nello stato di fluido elastico

Questa dottrina ha fatto sparire il flogisto, almeno come inutile; e l'aria atmosferica, riguardata per lungo tempo come un semplice stimolante, relativamente alla combustione, è divenuta poi il principio e l'agente principale e immediato di questo fenomeno.

317. La teoria di Lavoisier, la quale considerata in tutta la sua estensione, spiegava per mezzo dell'ossigene tanti diversi fenomeni, nei quali quell'elemento appariva ora come agente della combustione, ora come principio acidificabile, fu adottata con trasporto in principio da tutti i chimici francesi, e quindi da molti chimici stranieri. I fatti che avevan servito a stabilirla la rendevano tanto probabile, che non appariva alcun dubbio che essa non potesse applicarsi egualmente a qualunque altro fenomeno di simil genere, e che al merito di esser semplice non unisse quello di esser generale.

Ma per limitarci qui a ciò che riguarda la combustione, alcuni famosi chimici, variando le esperienze, trovarono che questa teoria soffriva alcune eccezioni in certi casi, dei quali il più singolare era quello in cui l'ossigene non scemava nulla di volume.

Da questa osservazione e da altre dello stesso genere fu concluso, che nell'andamento del fenomeno vi sono alcune circostanze, le quali, in mancanza dell'ossigene, potevano essere la sorgente della luce e del calorico che si sprigionano. Noi ci limitiamo a questa semplice indicazione, la spiegazione della quale ci porterebbe a certe particolarità, che più specialmente appartengono alla Chimica, poichè sono collegate con la maniera con cui accadono questi fenomeni nell'atto della combinazione, e con i rapporti intimi fra le azioni delle molecole sottoposte a questa operazione.

IV. DELL' ACQUA.

Nell'esporre le proprietà generali dei corpi, ci siamo limitati a citare alcuni esempii, presi da quelli nei quali si osservano più chiare e più distinte queste proprietà. Passiamo ora ad osservare alcuni liquidi o fluidi particolari, che notabilmente influiscono sui fenomeni della Natura.

Il primo è l'acqua che considereremo nei suoi tre stati di liquido, di ghiaccio e di vapore.

1. DELL' ACQUA IN STATO LIQUIDO.

318. L'acqua liquida ha certe proprietà fisiche, cioè è insipida, senza odore, trasparente, senza colore, e capace di bagnare la maggior parte dei corpi che si mettono a contatto con essa.

Ognuno sa con qual abbondanza questo liquido è sparso nella natura, e a quanti usi diversi esso serve. Riunito in masse immense nei mari, trasportato con moto progressivo nei fiumi e nei torrenti, serve, per mezzo della navigazione e del commercio, ad aprire una comunicazione fra popoli di diverse regioni: col suo impulso diviene il motore d'una moltitudine di macchine utili egualmente che ingegnose, e motore assai più potente diviene, ridotta in stato di vapore. L'acqua è l'elemento in cui vive un'innumerabile moltitudine di esseri organizzati; serve di bevanda all'uomo e agli animali che popolano la terra e l'aria; è uno dei principali agenti della vegetazione; e finalmente nel suo seno si formano infiniti minerali e quelle preziose sostanze metalliche, a cui l'industria umana sembra dare una nuova esistenza, riducendole ad uso sociale.

319. Per lungo tempo l'acqua fu creduta una sostanza semplice, e sotto questo aspetto gli antichi filosofi la riguardavano come uno dei quattro elementi che producevano tutti i corpi della natura, cioè Fuoco, Acqua, Aria e Terra. Questa opinione, per quanto lontana dal vero, pure poteva in qualche modo illudere le menti, perchè faceva concorrere alla formazione di tutti gli altri esseri, quelli che esistono più generalmente nell'universo, quelli che quantunque esistano in parti diverse, uno negli spazii celesti, e gli altri tre nella regione abitata dall'uomo, nondimeno son sempre in comunicazione gli uni con gli altri, e col resto della natura; quelli finalmente che sembravano i soli esseri fissi e inalterabili, in mezzo alle vicende che facevano continuamente variare la scena degli animali, dei vegetabili e dei minerali.

A questi sistemi nati da considerazioni astratte, la Chimica moderna ha sostituito altre teorie fondate sui fatti, fra le quali la più notabile è la scomposizione di questo medesimo liquido, già creduto sostanza elementare, in ossigene e idrogene. Non entra nel piano di questo trattato la spiegazione particolare di questa teoria, e però ci limiteremo a indicarne i resultamenti.

320. L'acqua piovana è più pura d'ogni altra; e Chaptal ha osservato che quella che cade in tempo di tempesta, è più impura di quella che cade in tempo di calma; e questa ancora diviene più pura col proseguir della pioggia (*a*). L'acqua che bagna la superficie della terra, o che scorre nel seno di essa, è sempre carica di materie eterogenee; e quella del mare e di alcune fonti, contiene in maggiore o minor quantità un sale che si estrae per mezzo dell'evaporazione, conosciuto sotto il

(*a*) *Elémens de Chimie, troisième édition*, t. I. p. 139.

nome di *sal marino*. Si chiamano *acque minerali* quelle che contengono varie sostanze saline, metalliche, etc., dalle quali prendono un sapore, e qualche volta ancora un odore particolare, e sono vantaggiosissime in alcune malattie. L'acqua dei fiumi tiene in dissoluzione molte materie pietrose, e specialmente molte materie calcaree; le quali scorrendo con essa nel seno della terra, formano certe incrostazioni o nelle pareti dei canali per i quali passa quest'acqua, o sulla superficie dei corpi organizzati che sono immersi in essa.

321. Inutili sono stati i tentativi e gli sforzi, benchè massimi, per comprimer l'acqua; e questa incompressibilità, almeno sensibile, è proprietà generale di tutti i liquidi. Una delle esperienze con cui si prova che l'acqua è incompressibile, consiste nel caricarla di una colonna di mercurio. A tal effetto si usa un sifone, del quale il braccio più corto, contenente acqua, è chiuso per la parte superiore, e il braccio più lungo è occupato dal mercurio che preme la superficie dell'acqua. Tal pressione non basta a far diminuire sensibilmente la colonna d'acqua, neppure quando quella di mercurio ha 227 centimetri, o 7 piedi d'altezza, nel qual caso essa esercita sopra l'acqua uno sforzo triplo di quello d'una colonna d'acqua di 10, 4 metri, ossia 32 piedi d'altezza. Nondimeno, quantunque non conosciamo finora verun mezzo per comprimer l'acqua, è da presumersi che sia effettivamente compressibile, giacchè la sua facoltà di trasmettere i suoni prova che è elastica; e l'elasticità suppone necessariamente la compressibilità (18).

(18) Il Prof. Oersted ha inventato un semplicissimo apparecchio per effettuare la compressione dell'acqua. Si prende una piccola boccia che abbia per collo un tubo capillare, si empie d'acqua ben purgata d'aria, e si immerge in altro vaso pieno d'acqua per render impossibile la dilatazione del primo, dimanierachè qualunque alterazione che accada nell'acqua contenuta in esso, è prodotta sopra il fluido e non sopra il vaso, il quale in mezzo a due fluidi premuto egualmente in parti contrarie, resta immobile e inalterato. Si introduce quindi una goccia di mercurio nel collo della boccia, e premendo poi direttamente l'acqua contenuta nel vaso maggiore, la goccia di mercurio con lo scendere o col salire indicherà la dilatazione o compressione dell'acqua.

Immergendo quindi nel vaso maggiore un cilindro rovesciato, contenente una certa quantità d'aria, e nel resto pieno d'acqua, ha misurato per mezzo della legge di Mariotte la forza impiegata nella compressione; ed ha trovato che l'acqua esposta ad una pressione eguale a quella dell'aria, prova una diminuzione di volume corrispondente a 45 milionesimi del suo volume.

Ha osservato inoltre che l'acqua nel comprimersi, a differenza dell'aria, non sviluppa calorico.

Parkins ha sottoposto l'acqua a una pressione eguale a 1120 atmosfere, in virtù della quale il volume di essa è scemato in ragione di 6 : 100. E una pressione di 1400 atmosfere esercitata sopra l'acqua marina e altre dissoluzioni saline, ha prodotto la cristallizzazione dei sali che esse contenevano. Antol. V. XII. p. 170.

Dell' Igrometria.

322. L'osservazione di alcuni fenomeni prodotti da ciò che si chiama *umidità*, ha dato origine a un ramo di Fisica che porta il nome di *Igrometria*. Esporremo primieramente i principii relativi alla teoria generale di questi fenomeni, e quindi descriveremo l'*Igrometro*, strumento che serve a misurare l'umidità dell'aria.

Tutti i corpi capaci di imbeversi d'acqua, hanno una maggiore o minor disposizione a unirsi con questo liquido, per effetto tanto d'un'attrazzione simile all'affinità chimica, quanto della tessitura delle loro parti, e di altre circostanze.

Se si immergano nell'acqua varii di questi corpi, come legno, spugna, carta, ec., si imbeveranno d'una maggiore o minor porzione di liquido, secondo la loro diversa natura; e poichè a misura che tendono al punto di saturazione, scema l'affinità loro per l'acqua, così quando quelli che attraevano l'acqua più potentemente, saranno arrivati a un punto, in cui la forza loro attrattiva sarà soltanto eguale a quelle dei corpi che la attraevano meno, si stabilirà fra tutti una specie d'equilibrio, e cesserà allora ogni inzuppamento.

Apparisce qui chiara una certa analogia fra il modo con cui i corpi assorbiscono il calorico, e il modo con cui si imbevono d'acqua, poichè la principal condizione da cui dipende l'equilibrio è la medesima in tutti e due i casi, e dipende dalle diverse capacità dei corpi per la sostanza che riscalda e per quella che bagna.

Se si pongano a contatto due corpi imbevuti di acqua, ma che non abbiano eguale affinità per questo liquido, quello che l'avrà minore cederà una porzione della sua acqua all'altro corpo, finchè si ristabilisca l'equilibrio; e si chiama *umidità* questa disposizione d'un corpo a comunicare ai corpi circonvicini una porzione dell'acqua di cui è imbevuto.

323. Non v'è corpo del quale tanto ci importi di conoscere l'umidità, quanto l'aria atmosferica: quindi i fisici hanno principalmente dirette le loro ricerche a questa cognizione, e quindi hanno immaginati varii strumenti per misurare l'umidità dell'aria.

Dunque l'acqua è pur compressibile in qualche modo, e poichè ritorna sempre alla sua primitiva figura, sarà pur elastica, quantunque a me non dispiaccia l'idea del Professor Gazzeri, il quale pensa che il rimbalzo dell'acqua, come del mercurio, ec., sia effetto dell'elasticità dell'aria interposta e compressa fra il piano e i fluidi che vi cadono. Così egli si esprime nella seconda lettera al modesto ma dotto Cav. Antinori intorno alla Meccanica della materia del Cav. Nobili. (Antolog. Vol. IX. p. 170.)

324. Esistono moltissimi corpi in cui l'umidità, a misura che cresce o scema, produce varii gradi di dilatazione o di contrazione, secondo che il corpo è capace o dell'uno o dell'altro cambiamento, in proporzione della sua organizzazione, della sua tessitura, o della disposizione delle fibre che lo compongono. L'acqua, per esempio, introducendosi nell'interno delle corde formate di fibre attorcigliate e poste obliquamente, produce fra queste fibre uno slontanamento di molecole che fa ingrossare la corda, e quindi necessariamente la fa raccorciare. Le fila torte con cui si formano le tele possono riguardarsi come piccole corde, le quali provano del pari un raccorciamento per causa dell'umidità; dal che nasce che le tele, specialmente quando si bagnano per la prima volta, si ritirano in ambedue le direzioni in cui si incrociano le fila delle quali son composte: la carta all'opposto, la quale è pure una riunione di fili delicatissimi, cortissimi, e disposti irregolarmente in qualunque direzione, si allunga per ogni dimensione della sua superficie, a misura che l'acqua, insinuandosi negl'intervalli di questi medesimi filamenti, produce fra essi uno slontanamento, andando dal centro verso gli orli.

Per costruire gl'igrometri sono stati prescelti quei corpi, nei quali l'umido produce più sensibili alterazioni; come pure l'aumento di peso che acquistano certe sostanze, come la lana in fiocchi, o un sale, assorbendo l'acqua contenuta nell'aria, ha servito di mezzo per misurare l'umidità dell'aria medesima. Tali mezzi però erano per se stessi molto imperfetti; e di più i corpi che si sceglievano a questo uso, erano soggetti a molte alterazioni, e però o presto o tardi perdevano la loro qualità igrometrica, male e per poco tempo corrispondendo al fine a cui erano stati destinati.

IGROMETRO DI SAUSSURE.

325. Per ricavare dall'igrometro reali vantaggi, bisognava porlo in grado di stare a confronto col termometro per un seguito di osservazioni esatte e paragonabili nei diversi igrometri.

Il celebre Saussure, autore d'un'Opera eccellente sull'Igrometria, è giunto ad ottenere questo intento nella seguente maniera.

Il pezzo principale del suo igrometro è un capello, il quale egli sottopone primieramente a un'operazione, per spogliarlo d'ogni specie d'untuosità che naturalmente lo ricopre, e che, almeno fino a un certo grado, gl'impedirebbe di risentir gli effetti dell'umido. Questa preparazione si fa nel tempo stesso sopra un certo numero di capelli, riuniti in un fascetto non più grosso d'una penna da scrivere, e tutto involto in un sottil panno-lino. Si immergono quindi questi capelli

così involtati, in un matraccio con lungo collo pieno d'acqua, che tenga in dissoluzione circa un centesimo del suo peso di solfato di soda, e si fa bollire quest'acqua per circa trenta minuti; quindi si fanno passare i capelli per due volte a traverso di acqua pura bollente, dopo si estraggono dal panno lino, si separano, si sospendono all'aria libera affinchè si prosciughino, e finalmente se ne sceglie uno fra i più puliti, più molli e più trasparenti.

È noto che l'umidità allunga il capello, e l'aridità lo raccorcia. Saussure, perchè tanto l'uno che l'altro effetto sia più sensibile, attacca un'estremità del capello a un punto fisso, e l'altra alla circonferenza d'un piccolo cilindro mobile, a un'estremità del quale è fissato un ago leggerissimo. Il capello è tenuto in stato di tensione da un contrappeso di 16 centigrammi, ossia tre grani in circa, sospeso a un sottilissimo filo di seta, che è avvoltato in direzione contraria al cilindro stesso. A misura che il capello si allunga o si raccorcia, fa girare il cilindro da una parte o dall'altra, e quindi fa girare necessariamente l'ago, di cui si misura il corso sopra un circolo graduato come gli ordinarii quadranti, intorno al quale l'ago fa la sua rivoluzione. Così una piccolissima variazione nella lunghezza del capello diviene sensibile, per il moto rapido che produce nell'estremità dell'ago; e facilmente si comprende, che a gradi eguali di allungamento o raccorciamento del capello, corrispondono archi eguali percorsi dall'ago.

Per dare alla scala una base che possa render paragonabili fra loro tutti gl'igrometri costruiti sui medesimi principii, Saussure prende due termini fissi, uno della massima umidità, l'altro della massima aridità: stabilisce il primo col porre l'igrometro in un recipiente di vetro, del quale ha inumidito con acqua tutta l'interna superficie, e così l'aria saturandosi di quest'acqua, allunga il capello con la sua umidità: proseguendo a inumidire il recipiente, è facile accorgersi che il capello è giunto al massimo grado di umidità, quando restando più lungamente sotto lo stesso recipiente, cessa di allungarsi.

Per ottenere il termine dell'estrema aridità, lo stesso Fisico si serve di un recipiente riscaldato e asciuttissimo, sotto il quale pone l'igrometro insieme con un pezzo di latta egualmente riscaldato e coperto di alcali fisso. Questo sale esercitando la sua facoltà assorbente sull'umido che può restare nell'aria circostante, fa raccorciare il capello fino al massimo grado di contrazione.

Questo grado è così prossimo a una perfetta secchezza, che può trascurarsi la piccola quantità d'umido che potrebbe restare nel capello (*a*);

(*a*) *Essais sur l'Hygrométrie*, n.° 47. e 149.

e poichè dall'altra parte la maggior quantità d'umido di cui può inzuppparsi il capello stesso produce, il suo massimo allungamento, ne resulta che i due punti fissi dell'igrometro corrispondono sensibilmente a due stati assoluti; dal che nasce la differenza fra questo strumento e il termometro, del quale i due termini fissi consistono in due limiti presi fra una serie di termini, che si estende indefinitamente al di sopra e al di sotto di questi limiti.

Per comodo del calcolo Saussure si è servito della divisione decimale, e ha diviso la scala di questo strumento in 100 gradi, indicando con lo zero la massima secchezza, e col numero 100 la massima umidità.

IGROMETRO DI DELUC.

326. Le numerose esperienze di Deluc sull'igrometria, concordi in gran parte con quelle di Saussure, sono state eseguite con uno strumento che differisce nella sua parte principale da quello che abbiamo descritto; e questa diversità nell'interrogar l'esperienza su questo punto delicato di Fisica, ha fatto nascere fra i due inventori importantissime discussioni (*a*). Il Fisico inglese costruisce il suo igrometro con una sottil costola di balena, la quale serve allo stesso uso che il capello nell'igrometro di Saussure. Tiene egli tesa questa costola per mezzo di una molla che preferisce all'azione di un peso; stabilisce il grado della massima umidità, immergendo totalmente nell'acqua la costola stessa; e per fissare l'opposto limite della massima secchezza, pone con l'igrometro in una campana di vetro una quantità di calce calcinata; e sceglie questa sostanza, perchè ridotta alla massima secchezza dalla calcinazione, se si lascia raffreddare fino a potere esser posta senza inconveniente sotto la campana di vetro destinata all'esperienza, essa sarà sempre in uno stato di secchezza sensibilmente uguale, perchè difficilmente si inumidisce di nuovo; e quindi eserciterà tutta la sua facoltà assorbente, per seccare a poco a poco l'aria contenuta nel recipiente, e poi per far passare l'igrometro stesso allo stato della maggior secchezza possibile.

DELLE VARIAZIONI DELL' IGROMETRO.

327. Esaminiamo ora l'azione dell'igrometro sul vapore contenuto nell'aria, preferendo l'igrometro a capello per applicarvi la teoria. Abbiamo veduto (§. 290) che una data massa d'aria a contatto con acqua liquida, contiene tutto il vapore di cui è capace a una data tem

(*a*) *V. Journal de Physique*, 1778. T. XXXII. p. 24, 98 a 132.

peratura, quando la forza elastica del calorico interposto fra le molecole del vapore, diminuita dalla forza dell'affinità scambievole di queste molecole, è in equilibrio con la forza del calorico contenuto nell'acqua, scemata dalla forza dell'affinità di quest'acqua per se stessa. Ora l'acqua di cui è imbevuto l'igrometro, differisce da quella che si trova in mezzo all'aria, in quanto che quella è sottoposta all'azione di una terza forza, qual'è l'affinità che il capello esercita sopra di essa; ed è chiaro che questa forza esercita la sua azione nel medesimo modo dell'affinità reciproca delle molecole acquee, sicchè tende a scemare l'effetto della forza elastica del calorico interposto nell'acqua stessa. Cresce inoltre a misura che l'igrometro perde porzione della sua acqua, e scema a misura che esso se ne imbeve, sicchè questa forza può riguardarsi come zero, quando l'igrometro è giunto a un grado di saturazione.

328. Per l'intelligenza di questi fenomeni bisogna ancora osservare, che supponiamo piccolissima la massa del capello, e quindi trascurabile la piccolissima quantità d'acqua che esso toglie o cede all'aria circostante, nonostante che quest'acqua medesima sia quella che produce le variazioni, e quindi le indicazioni dello strumento. Facemmo già una simile osservazione relativamente al termometro (§. 142).

329. Ciò premesso, se si ponga in una massa d'aria saturata di vapore, un igrometro che indichi il grado della massima umidità, nulla accaderà di nuovo, poichè l'affinità dell'igrometro per l'acqua essendo in questo caso soddisfatta, la sua azione è nulla, dimanierachè l'acqua che bagna il capello, essendo nel medesimo caso di quella che si suppone aver somministrato all'aria il vapore che ne l'ha saturata, l'equilibrio che esisteva relativamente a quest'ultima acqua avrà luogo egualmente per l'altra.

330. Figuriamoci al contrario, che l'igrometro posto in un'aria già saturata indichi un grado minore della massima umidità: in tal caso l'affinità del capello per l'acqua non essendo soddisfatta, attrarrà in esso una porzione del vapore contenuto nell'aria, finchè non sia cessata la sua azione. Allora l'equilibrio del sistema sarà lo stesso che nel caso precedente (§. 329), cioè l'indicazione dell'igrometro corrisponderà esattamente allo stato presente dell'aria.

331. In questo caso supponiamo che l'aria perda una porzione del suo vapore, senza cambiare però di temperatura, e restando in conseguenza sotto il grado di saturazione. L'acqua della quale è imbevuto il capello, essendo primieramente nel caso stesso d'una massa d'acqua isolata nell'aria, la forza elastica del calorico che essa contiene, ne convertirà una porzione in vapore: nel tempo stesso si ravviverà l'affinità del capello per l'acqua, e comincerà a esercitar la sua forza per ritenere

le molecole acquee che tenderebbero a separarsi. Verrà dunque a stabilirsi un nuovo punto d'equilibrio, quando la forza elastica del calorico contenuto nell'acqua dell'igrometro, sottrattene le due affinità che operano su quest'acqua (§. 327), sarà in equilibrio con la forza elastica del calorico interposto nel vapore, sottrattane l'affinità di questo vapore per se stesso. Allora l'igrometro essendo sceso sotto il termine della massima umidità, indicherà che il grado dell'aria è inferiore esso pure a quello di satur azione.

332. Si otterrà lo stesso effetto, se si ponga un igrometro indicante la massima umidità, in una massa d'aria di cui siasi elevata la temperatura, senza aumento di vapore, poichè il capello in tal caso cederà di nuovo all'aria una porzione della sua acqua, finchè tornino in equilibrio le forze che esercitano un'azione su quest'acqua e su questo vapore.

VARIE CAUSE CHE ALTERANO LA SEMPLICITA' DELL'ANDAMENTO DELL'IGROMETRO.

Ciò che abbiamo detto fin qui basta per i casi ordinarii, nei quali per mezzo dell'igrometro vogliamo solamente conoscere se l'aria è vicina al suo stato di saturazione, o se ne è lontana, cioè se ha una disposizione ad abbandonare una porzione dei vapori che contiene, o ad assorbirne una nuova quantità per effetto della sua presente temperatura. Il Fisico però, che vuol paragonare le variazioni dell'igrometro con le diverse quantità di vapori contenuti nell'aria, non si appaga di queste superficiali notizie, ma per l'intento che egli si propone, considera varie cause che combinate influiscono sullo strumento.

333. Quando l'aria in cui è posto l'igrometro si eleva in temperatura senza assorbire nuovi vapori, il calorico divenuto più abbondante produce, come abbiamo veduto (§. 332), l'evaporazione d'una parte dell'acqua di cui il capello è imbevuto, per la qual cosa esso si raccorcia; ma dall'altra parte l'azione del calorico penetrando nel capello lo allunga, e quindi si hanno due effetti opposti, l'uno igrometrico, l'altro pirometrico: e se il calore scema, gli effetti sono i medesimi, ma in modo contrario; e in questo caso il capello si imbeve d'una porzione sovrabbondante di umido preso dall'aria, e quindi si allunga, ma nel tempo stesso il raffreddamento contribuisce a raccorciarlo. L'effetto igrometrico è assai più sensibile del pirometrico, e il suo eccesso di sensibilità cresce in proporzione dell'umido. Quindi è che per compensazione, l'innalzamento di temperatura in uno spazio in cui si suppone costante la quantità del vapore, fa sempre muovere l'indice dell'igrometro verso

il grado di secchezza massima, e l'abbassamento di temperatura gli imprime un moto contrario verso il grado del massimo umido; le quali variazioni sono poco meno sensibili, che nell'ipotesi in cui l'azione pirometrica fosse nulla.

334. Supponiamo che un igrometro posto in una pianura indichi 50° d'umidità, in una temperatura, per esempio, di 15°, R., e che quindi il medesimo strumento portato sopra una montagna indichi 56°, mentre il termometro non indica che 8°. Senza altri dati che questi, non sarebbe possibile sapere se l'aria della montagna è più umida o più asciutta, poichè supponendo che l'aria contenesse in ambedue i casi egual quantità di vapore, il solo abbassamento di temperatura avrebbe potuto far avanzare l'indice dell'igrometro verso la massima umidità, solamente per l'eccesso dell'effetto igrometrico sull'effetto pirometrico (§. 333), e tutto al più avrebbe esso percorso un maggiore spazio dalla medesima parte, se l'aria della montagna fosse stata più umida di quella della pianura. Ma poteva ancora accadere che l'igrometro si muovesse dalla medesima parte, quantunque meno sensibilmente, se l'aria della montagna essendo più asciutta di quella del piano, l'effetto di questa differenza per raccorciare il capello, fosse stato minore di quello dell'abbassamento di temperatura per allungarlo.

Il problema dunque si riduce a cercare di quanti gradi questo abbassamento di temperatura avrebbe fatto muovere l'igrometro verso l'umidità, supponendo uniforme nelle due masse d'aria la quantità di vapori. Se il numero di questi gradi fosse eguale alla differenza 6 fra le due indicazioni dello strumento, si concluderebbe che l'aria della montagna era carica di vapori egualmente che quella della pianura, e se fosse minore o maggiore di 6., sarebbe questa una prova che l'aria della montagna è più umida o più asciutta di quella del piano.

335. Per facilitare lo scioglimento di questo problema, Saussure ha costruito una scala di correzione, per mezzo della quale si conosce quanto il capello, giunto a un tal grado della sua scala, si allunga o si raccorcia per l'eccesso dell'effetto igrometrico sull'effetto pirometrico, quando la temperatura si abbassa o si eleva d'un grado (*a*) Esaminando questa tavola, si osserva una certa regolarità nell'andamento dell'igrometro da 25° di questa scala fino a 72°, nel quale intervallo le variazioni crescono o scemano quasi in progressione aritmetica; dimanieracbè la differenza fra due termini consecutivi eguaglia circa la trentesima parte d'un grado. In conseguenza di questa osservazione, per aver la soluzione del problema proposto, abbiamo bisogno solamente di conoscere

(*a*) *Essais sur l'Hygrométrie* n.° 86. e seg.

il numero che rappresenta la variazione dell' igrometro per un grado di termometro, quando lo strumento è al 50.mo grado della sua scala. Questo numero essendo 1,283, o più semplicemente 1, 3, lo consideriamo come il primo termine d'una progressione aritmetica, in cui la differenza è $\frac{1}{30}$ ossia 0,033, e il numero dei termini è 7, come l'indica l'abbassamento di temperatura. Con questi dati si trova la somma di questa progressione 9°, 8, che uniti a 50° formano 59°,8; e a questo punto sarebbe l'igrometro sulla montagna, se l'aria vi fosse egualmente carica di vapori che nella pianura; ma l'igrometro sulla montagna ne indicava 56, dunque l'aria vi era più asciutta che al piano.

336. Un altro problema, la soluzione del quale deve riguardarsi come l'oggetto finale dell'Igrometria, è il trovare il rapporto fra i gradi dell'igrometro e del termometro, e le quantità di vapori contenute in una data massa di aria. Saussure dette abbozzata la prima idea della soluzione di questo problema, e Deluc la perfezionò con le sue numerose esperienze ingegnose e delicate; se non che egli si servì dell'igrometro a costola di balena, il quale forse non è perfettamente concorde con l'igrometro a capello, che i fisici sogliono preferire a qualunque altro.

L'igrometro è stato per lungo tempo trascurato nelle osservazioni meteorologiche; eppure da quanto abbiamo detto è facile rilevare, quanto sia necessario associarlo col termometro e col barometro, per ben ravvisare le molte e differenti cagioni che influiscono sulle variazioni dell'atmosfera; e solo per mezzo d'una lunga serie di osservazioni, fatte con questi strumenti combinati insieme, e unite a tutte le indicazioni che si deducono dallo stato del cielo, potremo avere sicuri dati per presagire verisimilmente i cambiamenti del tempo, e per giungere a una teoria probabilissima su questo importantissimo non che curioso soggetto. L'agricoltore, il viaggiatore, l'osservatore, dipendono continuamente nelle loro operazioni dallo stato dell'atmosfera, e dall'alternativa dei giorni sereni o piovosi: quindi è che questa specie di cognizioni riunisce in se l'utile e il piacevole, e ci serve di guida tanto nei timori che nelle speranze, relativamente al fine che ci proponiamo nelle nostre operazioni di questo genere.

Dei Tubi capillari.

337. Tutte le acque in riposo hanno la loro superficie a perfetto livello, quando le loro molecole sono soggette alla sola legge di gravità, che ha sempre un'azione perpendicolare alla superficie medesima; ma questo livello resta subito alterato, se si immerga nel liquido un

corpo. Se per esempio questo corpo è una lastra di vetro, la porzione del liquido adiacente alla medesima si eleva su tutte e due le facce in modo, che tutti i suoi punti di contatto con essa, formano una linea orizzontale situata sopra il livello. Nella fig. 25. *a b e g* rappresenta una sezione della lastra di vetro, fatta da un piano verticale perpendicolarmente alle grandi facce di questa lastra; M *c'c* N rappresenta il livello dell'acqua, e *hf*, *h'f'* le due curve del liquido.

338. Sostituendo un tubo alla lastra di vetro, l'acqua si innalzerà egualmente e dentro e fuori, formando due piccole concavità, delle quali gli orli superiori coincideranno con due anelli del tubo, posti al di sopra di quello che corrisponde al livello. Noi però osserveremo soltanto la concavità che si forma nell'interno del tubo.

In un tubo che abbia un diametro d'una certa estensione, la concavità non sarà sensibile che intorno alle pareti, sicchè l'acqua comparirà sempre livellata in tutta la parte media della superficie circoscritta dal tubo: ma a misura che sceglieremo tubi più stretti, vedremo crescere questa concavità; e arriveremo a un termine in cui il punto che corrisponde all'asse del tubo, principierà a oltrepassare visibilmente il livello; e finalmente se l'interno del tubo rappresenti un cilindro sottilissimo, il liquido salirà in esso nel primo momento dell'immersione, e vi resterà sospeso a un'altezza considerevole. Da questa esperienza che presenta il fenomeno in una delle sue circostanze più capaci di colpir l'occhio, è nata la denominazione di *Fenomeni dei tubi capillari*, quantunque questo fenomeno sia soggetto come tutti gli altri alla legge di continuità, e progredisca per una serie di insensibili gradazioni.

339. Simili effetti si osservano in tutti i liquidi che posson bagnare il vetro, non però tanto generalmente quanto si credeva un tempo, come faremo vedere in seguito. Ma se queste esperienze si facciano col mercurio, accaderanno in modo contrario i cambiamenti di figura e di situazione a cui sarà soggetto questo metallo liquido. Nell' esperienza di una semplice lastra di vetro, la porzione adiacente del mercurio si incurverà da una parte e dall'altra in tal modo, che le estremità di ciascuna curva *f h* o *f' h'* (*fig.* 26), saranno sopra una linea orizzontale abbassata sotto il livello. Immergendovi un tubo, specialmente stretto, si vedrà la superficie del metallo liquido prendere nell' interno una figura convessa, gli orli della quale aderiranno a un anello del tubo inferiore al livello; ora tutto questo accaderà in un tubo preso a caso, giacchè vedremo che per mezzo di qualche preparazione si potrà ottenere l'elevazione ancora del mercurio, come degli altri fluidi.

340. La legge del fenomeno quale apparisce dall'esperienza, è tale che un medesimo liquido si eleva in diversi tubi omogenei, ad altezze

che sono quasi in ragiona inversa dei diametri dei tubi (a); e l'abbassamento del mercurio è soggetto alla medesima legge.

341. L'osservazione ci mostra di più che le altezze alle quali si elevano diversi liquidi in uno stesso tubo, non sono in ragione della leggerezza specifica di quelli; e infatti l'alcool a l'olio si alzano nei tubi meno dell'acqua.

342. Finalmente se si copra l'interno del tubo con un leggiero strato di sevo o di qualunque materia grassa, il liquido in cui s'immerge il tubo si abbassa primieramante sotto al livello, formando una leggiera convessità alla sua superficie superiore; ma quindi a poco a poco ascende nel tubo, giunge al livello, e finalmente si eleva al di sopra di esso, ma però un poco meno che quando l'interno del tubo è pulito; e allora la sua superficie superiore è concava.

VARIE CAGIONI DALLA QUALI È STATO CREDUTO CHE DIPENDESSERO GLI EFFETTI DEI TUBI CAPILLARI.

343. La spiegazione dei fenomeni che abbiamo descritti, ha moltissimo esercitato la sagacità dei fisici. Alcuni hanno cercato di renderne ragione col supporre che l'aria, non potendo introdursi nel tubo se non che difficilmente e in poca quantità, premesse la colonna interna dell'acqua meno che il liquido esterno; e se si faceva loro l'obiezione, che ancora nel voto si osservava il medesimo effetto, rispondevano che ancora in questo caso doveva accadere diseguaglianza di pressione e diversità di livello, perchè non potendosi mai ottenere un voto perfetto, l'aria che restava sotto il recipiente in tutta la parte esterna del tubo, conservava lo stesso rapporto con l'aria interna: altri ricorrevano per questa spiegazione a un fluido sottile, discordi però sempre sul modo con cui esso operava: secondo alcuni, le sue parti erano d'una certa figura globulosa, che impediva loro di disporsi esattamente in un tubo di piccol diametro, per premere sulla colonna interna egualmente che sull'asterna: altri pensavano che la materia sottile formasse certi piccoli vortici, che con le loro molecole movendosi circolarmente per piani che

(a) Parchè queste esperienze così delicate diano resultamenti paragonabili, bisogna prima di tutto immergere il tubo interamente nel liquido, e dopo avernelo ritirato, scuoterlo finchè le pareti di esso restino solamente inumidite. Hauksbée era ben persuaso della necessità di queste precauzioni, il trascurar le quali è stato causa di tante varietà fra i Fisici, relativamente alle altezze alle quali dicono d'aver veduto elevarsi l'acqua o qualunque altro liquido in tubi di egual diametro.

passavano per l'asse del tubo, e giungendo poi all'orifizio del tubo stesso, spingevano dal basso in alto la colonna contenuta nel medesimo tubo.

Una sola osservazione bastava per rovesciare tutte queste ipotesi, cioè che le altezze a cui si elevano diversi liquidi in uno stesso tubo, non sono proporzionali alla leggerezza specifica di essi, mentre ciò precisamente avrebbe dovuto accadere secondo le ipotesi accennate, poichè il fluido sottile che produrrebbe questi fenomeni, in qualunque maniera esso operasse, dovrebbe favorire maggiormente l'innalzamento dei liquidi meno densi, i quali appunto perchè meno densi, dovrebbero essere meno capaci di opporsi all'azione di esso.

In tal modo i fisici si affaticavano inutilmente per trovare la vera causa del fenomeno in agenti esterni e invisibili, mentre essa esisteva nel tubo medesimo che essi avevano fra mano, e dipendeva da quella specie di attrazione, conosciuta sotto il nome di *attrazione a piccole distanze*.

344. Newton dopo aver trovato nella gravitazione universale il principio dei moti celesti, e dei fenomeni nei quali la natura fa vedere la sua grande azione, sopra masse separate talvolta da immensi intervalli (§. 39.), aveva egualmente osservati gli effetti di una certa attrazione, la quale non aveva luogo se non fra le molecole a contatto, attrazione che osservata così spesso dai chimici in pratica nella composizione e scomposizione dei corpi, fu da essi chiamata *affinità*. I fisici furono più tardi a riconoscerla in un'altra classe di effetti, in cui le sostanze sottoposte a questa azione conservano il loro stato naturale, come accade relativamente al fenomeno dei tubi capillari, e volevano piuttosto attribuir questi effetti a qualche effluvio o a qualche vortice di materia sottile, che appariva speciosamente come una causa meccanica, smentita però sempre almeno in parte dai fenomeni, per quanto si tentasse di modificarla e di adattarla ad essi a piacere. Era questo come l'ultimo rifugio dei vortici, che dopo essere stati esclusi dagli spazii celesti, cercavano di conservarsi almeno in certi angoli della natura, dai quali l'attrazione riprodotta sotto una nuova forma cercava pure di escluderli. Questa attrazione veniva paragonata alla prima; e poichè pareva che differisse da quella solo per la sua maniera d'operare in ragione delle distanze, e poichè dall'altra parte essa può essere diversamente modificata secondo le varie circostanze in cui opera, i fisici che l'adottavano erano accusati di moltiplicarla arbitrariamente, e di immaginare tante attrazioni particolari quanti fatti occorreva spiegare. Ma un esame attento bastava per far riconoscere, che supponendo ancora questa attrazione come distinta dalla gravitazione universale, non cessa però d'essere una forza unica

nel suo genere, e che si estende a una classe numerosa di fenomeni; e se talora apparisce diversa, ciò dipende dalle diversità che esistono fra i corpi stessi, sui quali essa esercita la sua azione. Newton osservava, che ammettendo questa forza, tutta la natura diventava semplice e concorde dovunque con se stessa, mentre l'Astronomia fisica da una parte, e la fisica ordinaria dall'altra, avevano ciascuna la loro attrazione, e dividevano fra queste due forze la spiegazione tanto di quei moti che da lungi colpiscono il nostro sguardo, quanto di quelli che per esser conosciuti devono osservarsi da vicino. Per altro sembra che ammessa un'ipotesi da noi altrove (§. 86.) indicata come verisimile, questa dottrina diverrebbe assai più semplice, dacchè le due attrazioni verrebbero ridotte all'unità.

345. La maggior parte dei fisici moderni sono concordi nel riguardare l'attrazione a piccole distanze, come la vera causa dei fenomeni dei tubi capillari, ma differiscono però nel modo di concepire il meccanismo, con cui l'acqua si innalza sopra il suo livello. Secondo l'opinione di Hauksbée, appena un tubo capillare entra nell'acqua con una estremità, l'anello di vetro con cui esso termina, esercitando una forza perpendicolare sulla piccola superficie d'acqua introdotta, la rende specificamente più leggiera; per la qual cosa venendo diminuita la sua pressione sugli strati inferiori, la pressione del liquido circostante diventa maggiore, spinge nell'anello successivo la porzione d'acqua introdotta, e una nuova porzione o goccia entra di nuovo nell'ultimo anello. I due anelli esercitando allora insieme la stessa azione sul liquido da cui sono bagnati, la pressione dell'acqua circostante fa salire nel tubo un nuovo strato d'acqua, e così di seguito finchè la colonna del liquido sia giunta a un'altezza tale da fare equilibrio, col suo peso diminuito dall'attrazione, alla pressione del liquido esterno (*a*).

Jurin che ha fatto una serie d'importantissime esperienze sugli effetti dei tubi capillari, attribuisce al contrario l'elevazione dell'acqua all'attrazione dell'anello che è immediatamente sopra l'estremità della colonna acquea introdotta; nella quale ipotesi la forza che fa salir l'acqua, e quella che la tiene quindi sospesa alla sua massima altezza, premono continuamente dal basso in alto in direzioni quasi parallele all'asse del tubo; ipotesi assai più verisimile del meccanismo immaginato da Hauksbée per spiegare questo fenomeno (*b*).

Veitbrecht ha data una lunga spiegazione del medesimo fenomeno, connettendo metodicamente una serie di proposizioni che danno la più spe-

(*a*) *Esper. phys-mécaniq. sur différens sujets*, Paris 1754, t. II. p. 142 e seg.
(*b*) V. *Leçons de Phys. expérim. par Côtes*, p. 410, e seg.

ciosa apparenza alla sua teoria (*a*). Egli si accorda quasi con Jurin, relativamente alla parte del tubo nella quale consiste l'azion principale, e stabilisce una distinzione opportunissima fra lo strato d'acqua che bagna il tubo, fino alla distanza a cui si estende l'attrazione del vetro, e il cilindro acqueo circondato da questo strato. Secondo la sua opinione, questo medesimo strato è sostenuto dall'anello di vetro immediatamente superiore, mentre esso dall'altra parte, per mezzo della coesione, sostiene le molecole che compongono il cilindro interno.

346. Gli autori di queste ipotesi hanno creduto di poter dimostrare rigorosamente il rapporto inverso fra le elevazioni o gli abbassamenti d'uno stesso liquido, e i diametri dei tubi che si immergono in esso, supponendoli quasi in tutto omogenei. Per esempio, nell'ipotesi di Jurin, quando il liquido si alza sopra il livello, in due tubi differenti, le attrazioni sono in ragione delle circonferenze dei tubi, ossia dei loro diametri; ma sono ancora in ragione dei pesi dei cilindri acquei sospesi nei tubi, cioè dei quadrati dei diametri moltiplicati per l'altezze, lo che dà il rapporto inverso fra il diametro e l'altezza (*b*).

Queste ipotesi eran tutte difettose, perchè gli autori di esse astraevano da moltissime circostanze che accompagnano questo fatto, in cui si riuniscono tante e sì diverse azioni; e considerandolo essi in un modo incerto e superficiale, lo rendevano d'una semplicità puramente illusoria, sicchè pareva che avessero adattato il principio alle conseguenze che osservavano nei fenomeni, anzi che far derivare queste da quello.

347. Clairaut è il primo che abbia sottoposti questi fenomeni a un'analisi veramente rigorosa. Ravvisò in essi tutte le forze che concorrono a produrli, come la gravità, l'attrazione delle molecole del tubo su quelle del liquido, e le attrazioni scambievoli di quest'ultime; non trascurò neppure una circostanza essenziale, non apprezzata dagli altri fisici, cioè la figura concava o convessa che prende la superficie superiore del liquido contenuto nel tubo (*c*). Nondimeno con questa sua teoria, per quanto sia ingegnosa, egli non dà del problema che un'imperfetta soluzione. Si contenta di far vedere che esistono infinite leggi d'attrazione ammissibili, fra le quali sempre se ne potrà scegliere una che dia il rapporto inverso fra il diametro del tubo e l'innalzamento del liquido sopra il livello; col che prova che la sua formula contiene,

(*a*) *Mém. de l'Académ. de Pétersbourg*, t. IX.

(*b*) Sieno D, *d* i diametri, e H, *h*, l'altezze: avremo $D : d :: D^2 \times H : d^2 \times h$; e di qui, $H : h :: d : D$.

(*c*) *Théorie de la fig. de la Terre*, p. 105 e seg.

come suol dirsi, la chiave dell'enigma, ma non ne svela l'arcano. L'imperfezione del suo metodo dipende dall'aver egli supposto, che l'attrazione del tubo capillare si estenda a distanze sensibili; la qual supposizione l'ha condotto a introdurre nella sua teoria certi termini che poi spariscono, e che non avrebbero dovuto entrarvi.

TEORIA DI LAPLACE.

348. La teoria di Clairaut, che quantunque imperfetta, era la migliore di qualunque altra, resta assolutamente ecclissata da quella di Laplace. Questo celebre fisico considerando l'azione del tubo capillare come sensibile soltanto a insensibili distanze, ha ridotto primieramente il problema ai suoi veri dati; e i geometri capaci di seguirlo nei suoi calcoli, ravviseranno doppiamente l'autore della *Meccanica celeste*, in una soluzione in cui si è servito delle stesse formule, che inventò per spiegare i più grandi fenomeni della natura (*a*). Nell'esporre i resultamenti delle sue osservazioni, seguiremo l'ordine che egli stesso ci ha graziosamente indicato.

Azione d'una massa di liquido sopra una colonna liquida interna.

349. Supporremo primieramente che la massa di liquido di cui dobbiamo considerare l'azione, abbia una base piana, perchè da questa azione dipende in parte quella esercitata da un liquido o convesso o concavo.

Sia *abcd* (*fig.* 27) questa massa, ed esaminiamo l'effetto della sua attrazione a piccolissime distanze, sopra una colonna sottilissima *or* contenuta nel suo interno, e perpendicolare alla base *ab*. Presa nella parte superiore *oz* di questa colonna una molecola *m*, posta a una distanza da *ab*, minore del raggio della sfera d'attrazione sensibile del liquido, se sopra la molecola conduciamo un piano *lk* in modo che essa resti ad egual distanza da questo e da *ab*, è chiaro che essa sarà attratta con egual forza verso l'alto e verso il basso, dalla piccola massa di liquido interposta fra i due piani *ab*, *lk*, perchè la quantità del liquido è eguale da una parte e dall'altra. Ma il liquido che resta sotto il piano *lk*, con la sua azione che non è tenuta in equilibrio da nessun'altra, attrarrà la molecola *m* verso il basso, fino a una distanza eguale al raggio della

(*a*) *Théorie de l'action capillaire, ou Supplément au X. livre du Traité de la mécaniq. céleste.*

sfera d'attrazione sensibile del liquido; e ciò si avvererà per qualunque altra molecola lontana da *ab* sempre meno dell'indicata distanza. Ora poichè la parte oz della colonna esercita essa pure un'azione sulle parti inferiori, spingendole in basso, possiamo considerare l'effetto dell'attrazione, come una pressione che la colonna eserciterebbe sopra una base posta nell'interno della colonna stessa, perpendicolarmente ai suoi lati, e a una distanza sensibile dalla superficie *ab*.

350. Non sarà inutile il considerare ancora l'azione della massa *abcd* sopra una colonna sottilissima *or'*, contenuta in un canale posto sopra il piano *ab*, in modo che il suo asse coincida col prolungamento di quello di *or*. Scegliamo nella prima una molecola *m'*, ad egual distanza di *m* da *ab*, ma in parte opposta. La massa *abcd* eserciterà la sua azione sulla molecola *m'*, dal che concluderemo che la molecola *m'* è attratta in basso ancor essa. Si potrà dir lo stesso di qualunque altra molecola, posta nella colonna *or'* a una giusta distanza da *ab*, supponendo una nuova molecola posta ad egual distanza nella colonna *or*, e trasportando col pensiero il piano *lk*, in modo che la nuova molecola si trovi egualmente distante da questo e da *ab*; dal che concluderemo che l'azione della massa piana *abcd* sulla colonna *or'*, produce nella parte inferiore di questa colonna una tendenza a scendere, la quale vien comunicata alla colonna intera.

351. Supponiamo ora che la massa del liquido in vece d'esser piana, termini con una convessità sferica *qol* (*fig.* 28) d'un raggio qualunque, tangente al piano *ab*. e vediamo cosa divenga la prima azione in forza della soppressione della specie di menisco *ablq*. In tal caso non si tratta che di determinare l'azione di questo menisco, e di separarla da quella della massa piana. Sia *s* una molecola qualunque presa nell'interno del menisco. ma a una distanza dal punto *o*, minore del raggio della sfera d'attività del liquido. Si conducano *so*, *sh* in modo che il triangolo *soh* sia isoscele. La molecola *s* esercita sul punto *o* una forza obliqua, la quale in parte tende a trarre in basso questo medesimo punto: ma essa esercita pure sul punto *h* un'altra forza obliqua, che in parte esercita un'eguale energia per trarre in alto questo punto stesso, sicchè quest'azione distrugge quella che tende a fare scendere il punto o. Possono immaginarsi nell'interno del triangolo *soh* altre linee condotte da *s* sulla base *oh*, a distanze eguali dalle sue estremità; e applicando lo stesso raziocinio alle forze che operano nella direzione di queste linee, si concluderà che la molecola *s* essendo in perfetto equilibrio, non ha veruna azione per fare scendere o salire la parte *oh* della colonna *or*.

Ma questa molecola esercita pure altre azioni oblique sui punti inferiori ad *h*, fino a una distanza in cui l'attrazione cessa d'esser sen-

sibile; e perchè l'angolo *shr* è ottuso, queste azioni ridotte tutte in direzione verticale, tendono a trarre in alto il punto che consideriamo: e ciò che diciamo della molecola *s*, si verifica per tutte le molecole esistenti nell'interno del menisco *aoblq*, a una giusta distanza dalla colonna *or*: dunque l'azione del menisco è tale in sostanza, da far muovere la colonna dal basso in alto. Ma abbiamo veduto (§. 349.) che l'azione della massa terminata dal piano *ab*, tende al contrario a fare scendere questa colonna; dunque la soppressione del menisco accresce l'azione della massa per spingere la colonna in basso, tanto quanto lo permette l'azione del menisco stesso, ma in direzione contraria, ossia l'azione della massa convessa è eguale all'azione della massa piana, unita all'azione del menisco.

352. Prendiamo sopra il piano *ab* un nuovo menisco *fogba*, concavo dalla parte superiore, e cerchiamo egualmente l'azione di questo menisco sulla colonna *or*. Se dal punto *o* conduciamo *on* parallela ed eguale ad *hs*, una molecola posta in *n* attrarrà le molecole poste sotto *o*, come la molecola in *s* attrae le molecole sotto *h*; e poichè accade lo stesso relativamente a tutti i punti posti nell'interno dei due menischi, si concluderà che l'azione totale del menisco *fogba* tende essa pure a far salire la colonna *or*, ossia a distruggere una parte dell'azione della massa piana. Ma in tal caso questo effetto diviene negativo, in virtù dell'aggiunta dell'azione del menisco, dunque l'azione della massa terminata dalla superficie concava *fog* eguaglia l'azione della massa piana, sottrattane l'azione del menisco *fogba*.

353. E se si supponga che rimanendo costante la linea *ab*, la quale misura la corda dell'arco *fog* o *qol*, la curva di questo arco divenga più sensibile, o formi una maggior porzione della circonferenza, il raggio di questa diverrà sempre minore; e intanto crescerà il numero delle molecole contenute in ciascun menisco, e quindi crescerà l'azione del menisco medesimo: ma Laplace dimostra colla più rigorosa analisi, che quest'azione è in ragione inversa del raggio della superficie sferica (*a*).

(*a*) Sia H una quantità costante, e *b* il raggio della superficie sferica. L'azione del meniaco sarà in generale $\frac{H}{b}$; e se sia K l'azione della massa piana, quella della massa convessa sarà $K + \frac{H}{b}$, e quella della massa concava sarà $K - \frac{H}{b}$, osservando che K è molto maggiore di $\frac{H}{b}$. Nella memoria di Laplace si trova spiegato in qual modo H e K dipendono dalla legge di attrazione.

354. Diamo ora un'idea del bel teorema che Laplace ha dedotto da questi resultamenti. Immaginiamo un corpo di superficie curvilinea di una figura qualunque, e dentro il medesimo prendiamo un sottilissimo canale, perpendicolare alla superficie in qualunque punto. Se si supponga questa superficie tagliata per ogni verso da piani perpendicolari alla medesima, e che passino per questo punto fra questi piani, nasceranno varie curve, ognuna delle quali avrà un circolo osculatore al punto stesso; e fra tutti i raggi della curva, appartenenti a circoli diversi, il massimo e il minimo saranno situati in due piani perpendicolari fra loro. Ma l'azione del corpo sul canale è eguale alla semi-somma delle azioni, che sopra un simil canale posto nell'interno eserciterebbero due sfere, che avessero per raggi il massimo e il minimo fra quelli della curva: dunque se il canale contenuto nel corpo corrisponde a un punto come *o*, in cui il solido sia un solido di rivoluzione intorno a una linea perpendicolare a questo medesimo punto, è chiaro che essendo eguali tutti i raggi della curva, sarebbero pure eguali le azioni delle due sfere, e la semi-somma di queste azioni eguaglierebbe quella del corpo: dunque l'azione di cui parliamo eguaglierà quella di una delle due sfere.

355. Per mezzo di questa medesima teoria si spiega ancora la curva prodotta dalla sezione della superficie del liquido con piano verticale. Quando il liquido è chiuso in un vaso indeterminato, questa curva è simile a quella che i geometri chiamano *elastica*, perchè è la figura che prende una lama di molla fissata orizzontalmente con una sua estremità a un piano verticale, e caricata dall'altra di un peso che l'obbliga a piegarsi; ed esiste tal'analogia fra queste due curve, perchè tanto nell'una quanto nell'altra, la forza della curvatura è in ragione inversa del raggio del circolo osculatore.

356. Nei tubi stretti la superficie del liquido apparisce di una figura simile al segmento sferico, e ciò tanto più quanto minore è il diametro del tubo: e in tal caso è così poco sensibile il cambiamento di figura, che in tubi omogenei i segmenti son quasi perfettamente simili. Ciò si concepirà facilmente, se si osservi che l'azione del tubo non diviene insensibile se non a una distanza infinitesima, di maniera che, dice Laplace » se per mezzo di un fortissimo microscopio potessimo arrivare » a ingrandirla fino a un millimetro, con questo microscopio stesso il » diametro del tubo ci comparirebbe lungo molti metri ». Dunque la superficie del tubo può considerarsi come quasi piana in un intervallo misurato da questa distanza, e quindi il liquido che corrisponde a questo intervallo si alzerà dalla superficie, o si abbasserà quasi come se fosse piana, e però i primi elementi della curva avranno visibilmente la stessa inclinazione in tubi diversi.

Al di là di questo intervallo, il liquido non essendo più soggetto se non all'azione della gravità e alla sua azione sopra se stesso, la prima è pochissimo capace di disturbar l'altra, perchè la differenza di livello è insensibile nell'angusto spazio che corrisponde al diametro del tubo, e perchè l'azione del liquido sopra se stesso è tanto maggiore di quella della gravità, quanto è minore il raggio della curva della superficie. In tal caso la superficie differirà poco da quella d'un segmento sferico, i lati estremi della quale, poichè corrispondono a quelli dei piani posti all'estremità della sfera d'attrazione, sono egualmente inclinati sulle pareti del tubo, qualunque ne sia il diametro: quindi ne viene che ancora i segmenti saranno quasi tutti simili fra loro, la qual somiglianza ci dimostra, che i raggi delle superficie convesse o concave del liquido nei tubi stretti, sono sensibilmente proporzionali ai diametri di questi tubi; e vedremo in seguito a qual importante oggetto ci condurrà questa conseguenza.

357. Se il tubo è inclinato all'orizzonte, la superficie del liquido è in questo caso ancora una superficie di segmento sferico, a cui l'asse del tubo è perpendicolare, perchè l'azione della gravità in tubi strettissimi può trascurarsi a fronte dell'azion capillare.

Applicazione della teoria precedente ai fenomeni dei tubi capillari.

358. Sia *epcd* (*fig.* 29.) la sezione d'un tubo capillare immerso verticalmente nell'acqua, della quale MN indichi il livello: sia *fog* la superficie concava dell'acqua contenuta nel tubo, e *or* una colonna sottilissima di questo liquido, che rappresenti l'asse del tubo. Si prenda egualmente nell'acqua circostante una colonna verticale *hs*, sottilissima e tanto lontana dal tubo, che esso non abbia veruna influenza sopra quella; quindi si immagini un canale orizzontale *sr* che metta in comunicazione le due colonne. Bisogna provare che le forze che tengono in equilibrio fra loro queste colonne, producono un innalzamento della colonna *or* sopra il livello, in ragione inversa del diametro del tubo.

Da quanto abbiamo detto (§. 352.) si deduce, che se la colonna *or* avesse un'altezza eguale soltanto a quella della colonna *hs*, la sua pressione sulla base *r* sarebbe minore di quella della colonna *hs* sulla base *s*, poichè l'estremità della prima colonna è una superficie concava, mentre quella dell'altra è una superficie piana: così il liquido si alzerà nel tubo sopra il suo livello, per compensare la differenza di pressione con l'aumento di peso. Ma questa compensazione dipende dall'azione del menisco *fgba*, la quale è in ragione inversa del raggio della curva nel punto *o* (§. 353.); e dall'altra parte le superficie dei menischi nei tubi stretti presentano una

figura similissima a un segmento sferico, e di più son simili fra loro (§.356); sicchè i raggi di essi son proporzionali ai diametri dei tubi, e nel tempo stesso ai raggi della curva. Dunque l'azione del menisco è essa pure in ragione inversa del diametro del tubo, e quindi ancora il liquido si alza sopra il livello in un rapporto eguale.

Da un'esperienza di Newton (*a*) si rileva, che in un tubo di vetro di $\frac{1}{10}$ di pollice inglese di diametro ($0^{mil.},508$), l'acqua si alzava a un pollice inglese ($25^{millim.},4$); e noi servendoci d'un tubo di 2 millim. di diametro, abbiamo veduto l'acqua alzarsi in esso a $6^{millim.},75$ (*b*); il qual effetto, paragonato con quello ottenuto da Newton, dà quasi il rapporto inverso fra l'innalzamento del liquido e il diametro del tubo (*c*): in un altro tubo di $1^{mil.},33$ di diametro l'acqua si innalzò 10 millimetri. Nel ripetere simili esperienze con diversi fluidi in tubi eguali, abbiamo osservato che l'olio d'arancio si alzava ad un'altezza, che era la metà di quella dell'acqua.

359. Supponiamo ora che la superficie del liquido interno invece d'esser concava sia convessa, come si osserva sulla *fig.* 30. In tal caso la pressione della sottilissima colonna *or* sulla base *r*, essendo, in parità di circostanze, maggiore di quella esercitata sulla base *s* da una colonna *hs* presa nel liquido circostante (§. 351.), ne verrà per conseguenza un raccorciamento della colonna *or*; ed è questa una compensazione, la quale deriva dall'azione positiva che nasce dal sopprimere un menisco simile ad *aoblq* (*fig.* 28.). Con un raziocinio simile a quello usato nel caso della *fig.* 29, si proverà che quando i tubi sono stretti, l'azione di cui parliamo è sempre in ragione inversa dei loro diametri; quindi è che l'abbassamento del liquido sotto il livello, è nello stesso rapporto.

In queste esperienze ci siamo serviti dei tubi stessi che impiegammo per le esperienze sull'acqua; e nel tubo di 2 millimetri di diametro, il mercurio si è abbassato $3^{mil.},66$ sotto il livello; e nel tubo di $1^{mil.},33$, l'abbassamento è stato di $5^{mil.},5$.

(*a*) *Optice lucis* lib. III., quaest. 31.

(*b*) Questa esperienza, come pure altre di cui saremo per parlare, sono state fatte da noi insieme col sig. Tremery ingegnere delle miniere e professor di Fisica, e col dotto sig. Tondi, napoletano, impiegato nel Museo di Storia naturale.

(*c*) Partendo dal resultamento di Newton, col calcolo si trova $6^{m.},45$.

CAGIONE DELL' ABBASSAMENTO DEL MERCURIO SOTTO IL SUO LIVELLO.

360. Dalle ordinarie esperienze fatte con l'immergere un tubo capillare nel mercurio, sembra a prima vista che resulti una nuova differenza notabile fra le proprietà di questo metallo e quelle dei liquidi acquei. Ma alcune osservazioni provano, che quando in tali casi questo metallo liquido si abbassa sotto il livello, ciò dipende da un leggiero strato di umido che riveste la superficie interna del tubo, il qual umido indebolisce notabilmente la forza attrattiva del vetro per il mercurio. Casbois professor di Fisica a Metz, ha potuto introdurre una quantità di mercurio asciuttissimo in un sifone di vetro, un braccio del quale era capillare, e l'altro aveva un diametro di qualche estensione, e ambedue privi perfettamente d'aria e quindi chiusi ermeticamente. Posto il sifone con la sua parte convessa voltata in basso, il mercurio si alzava nel braccio stretto due o tre linee più che nel braccio largo, e in un barometro capillare costruito insieme con un barometro ordinario, si vedeva la stessa differenza relativamente alla colonna di mercurio contenuta nel tubo (*a*).

361. Laplace e Lavoisier avendo fatto ben bollire il mercurio prima di introdurlo in un barometro ordinario, son giunti a fare sparire la convessità con cui suol terminare la colonna di questo metallo liquido, e ancora a renderla piana alla base; ma hanno riprodotti tutti gli effetti della capillarità, versando una goccia d'acqua nel tubo. Dunque se nel mercurio osserviamo un fenomeno opposto a quello che vediamo nell'acqua, ciò dipende da una cagione ch'è estranea affatto e a questo metallo liquido e al tubo; e quindi è questo un effetto analogo a quello che si osserva nell'acqua medesima, quando il tubo che si immerge in essa è stato prima tutto unto internamente con una sostanza grassa, che impedisce l'immediato contatto del vetro con le molecole acquee: e poichè essa ha un'azione debolissima sul liquido, produce la convessità della superficie della colonna, e però il liquido stesso si abbassa sotto il livello.

CASO IN CUI IL LIQUIDO TERMINA IN SUPERFICIE CILINDRICA.

362. Da quanto abbiamo detto fin qui si deduce facilmente, che fra due lastre di vetro parallele e a infinitesima distanza fra loro, immerse nell'acqua verticalmente con un'estremità, l'acqua stessa deve elevarsi sopra il suo livello. In tal caso la superficie del liquido forma come una

(*a*) *Dictionnaire encyclopédique*, *Supplém.* t. IV. p. 981.

specie di solco, simile a una porzione d'un cilindro voto, presa parallelamente all'asse. La sezione di questa superficie, presa in direzione perpendicolare alle facce delle due lastre, è essa pure un arco di circolo, se le lastre son molto vicine fra loro; e questo arco è lo stesso che in un tubo, il quale avesse un diametro eguale alla distanza fra le lastre medesime, poichè, come abbiamo veduto (§. 356.), i lati estremi della curva hanno le stesse situazioni, tanto relativamente a un piano quanto alle pareti di un tubo. Immaginiamoci ora nel punto più basso della superficie concava del liquido interno un canale angustissimo, che ripiegandosi al di sotto delle lastre, vada a terminare alla superficie del liquido circostante. Per meglio intender ciò, possiamo supporre che *pc*, *ed* (*fig.* 29.) sieno le sezioni delle due lastre, prese perpendicolarmente alle facce di queste lastre medesime: questo canale sarà rappresentato da *orsh*.

Il liquido si alza fra le due lastre in ragione dell'azione del menisco compreso fra un piano orizzontale *ab*, condotto al punto più basso della superficie concava *fog* del liquido, e questa medesima superficie. Quest'azione, per il teorema dimostrato di sopra (§. 354.), è eguale alla semi-somma delle azioni dei menischi similmente formati da due superficie sferiche, delle quali una avesse per raggio quello della sezione che si vede nella figura, e l'altra quello della sezione perpendicolare alla precedente; ma quest'ultima sezione essendo una linea retta, il suo raggio è infinito, e però il menisco corrispondente diviene nullo. Dunque, per rappresentare l'elevazione del liquido, non resta che la metà dell'azione del menisco formato dalla prima sfera; mentre relativamente a un tubo che abbia un diametro eguale alla distanza delle due lastre, l'elevazione del liquido è rappresentata dall'azione intera del menisco; e però il liquido deve alzarsi fra le due lastre la metà meno che in questo tubo. Laplace ha generalizzato questo resultamento, estendendolo al caso di due tubi cilindrici incastrati l'uno nell'altro, in modo che gli assi loro si confondano, e che l'intervallo fra la superficie interna del maggiore e la superficie esterna del minore sia capillare. Ancora in questo intervallo l'innalzamento del liquido è la metà di quello che sarebbe in un tubo, il quale avesse un diametro eguale alla distanza fra i due tubi suddetti. Il caso di due lastre parallele è compreso nel teorema generale indicato di sopra, poichè basta supporre infiniti i raggi dei due tubi, purchè resti capillare lo spazio intermedio.

363. Il celebre autore di questa teoria, dopo avere scoperto questo rapporto importante, desiderava che fosse verificato dall'osservazione; e scorrendo l'Ottica di Newton, trovò che quel gran fisico pareva che avesse prevenuto il suo desiderio, in esperienze esattissime fatte

alla presenza della Società reale di Londra, e dalle quali pure rilevò la stessa eguaglianza fra l'intervallo che separava le due lastre di vetro parallele fra loro, e il raggio d'un tubo in cui l'acqua si alzava ad eguale altezza (*a*). Questo tubo, del quale già parlammo (§. 358.), aveva $\frac{1}{50}$ di pollice inglese (0*millim.*, 508) di diametro, e l'acqua si alzava in esso all'altezza di un pollice o 25*millim.*, 4; e l'elevazione del liquido era la stessa fra due lastre distanti l'una dall'altra $\frac{1}{100}$ di pollice inglese o 0*millim.*,254. In un'esperienza che abbiamo fatta noi stessi con lastre distanti fra loro un millimetro, l'acqua si è elevata 6*millim.*, 5, quantità quasi eguale all'elevazione del liquido nel nostro tubo di due millimetri di diametro.

Abbiamo fatta ancora l'esperienza di due tubi incastrati l'uno nell'altro, gli assi dei quali coincidevano. Il diametro interno del più largo era di 8 millimetri, e il diametro esterno del più stretto era 5*millim.* 5, cioè la distanza fra l'uno e l'altro era 1*millim.*,25, e l'acqua si alzò un poco più di 5 millimetri nell'intervallo misurato da questa distanza. Fra due altri tubi, l'uno di 5 millimetri di diametro interno, l'altro di 3 millimetri di diametro esterno, cioè a un millimetro di distanza, l'acqua si alzò poco meno di 7 millimetri. Si otterrebbe a un dipresso lo stesso con tubi semplici che avessero un raggio eguale alla distanza dei due tubi; e così il teorema generale si verifica nei due casi estremi.

I fisici che avevan tentato di dare una spiegazione dei fenomeni prodotti dai tubi capillari, non avevan pensato a paragonare l'azione che si osserva in un tubo capillare con quella che si osserva fra due superficie parallele; e concependo in una maniera indeterminata quei pochi fenomeni che naturalmente si presentavano all'osservazione, erano incapaci di ravvicinare fra loro quegli effetti più separati, alla cognizione e riunione dei quali poteva solo condurre una teoria capace d'esser sottoposta al calcolo.

DELLA CURVA CHE FORMA LA SUPERFICIE SUPERIORE DELL'ACQUA FRA DUE LASTRE UNITE AD ANGOLO ACUTISSIMO.

364. Le due lastre di vetro dell'esperienza precedente possono ancora disporsi in modo che si tocchino con uno dei loro orli, facendo fra loro un angolo acutissimo: se si immergano nell'acqua in modo che la linea loro d'unione sia perpendicolare alla superficie del liquido, si vedrà questo alzarsi a un tratto fra le due lastre, formando una curva che

(*a*) *Optica lucis*, lib. III, quaest. 31.

avrà rivolta la sua convessità verso la linea di unione, e che passerà per le estremità di varie altezze a cui deve alzarsi il liquido, a misura che scema l'intervallo fra le due lastre di vetro. Ora si concepisce facilmente che questa curva deve essere un'iperbola. Sia $aa'x'x$ (*fig.* 31) una delle due superficie dell'acqua adiacente alle pareti interne delle lastre di vetro, ax la linea d'unione di questa medesima superficie con quella dell'acqua dove sono immerse le lastre, e $b'x'$ la curva formata dai punti più elevati dell'acqua contenuta fra le lastre. Possiamo considerare quest'acqua come la riunione di tanti piccoli cilindri, che avessero per altezze le perpendicolari xx', tt', rr', ec. condotte sulla linea ax fino all'incontro della curva. Sia zax (*fig.* 32) la superficie inferiore dell'acqua contenuta fra le lastre, nel qual caso la linea ax sarà la stessa che nella *fig.* 31. Se si conducano xz, tu, rs, ec. perpendicolari sopra ax in modo che le distanze xt, tr, ro, ec. sieno le stesse che nella *fig.* 31, queste perpendicolari potranno considerarsi come i diametri delle basi dei piccoli cilindri, che hanno per altezze xx', tt', rr', ec. Ma in conseguenza della legge alla quale è soggetto il fenomeno, le altezze xx', tt', rr', ec., sono in ragione inversa dei diametri xz, tu, rs, ec. (*fig.* 32) delle basi; e questi diametri stanno fra loro in ragione delle loro distanze ax, at, ar, ec. dal punto a; dunque le linee xx', tt', rr', ec. (*fig.* 31) son esse pure in ragione inversa delle linee ax, at, ar, ec., dal che segue che la curva $b'x'$ è un'iperbola che ha per asintoti ax, aa', sicchè xx', tt', rr', ec. sono le ordinate all'asintoto ax, e ax, at, ar, ec. sono le ascisse; ed è questa una conseguenza del rapporto inverso indicato di sopra. Questa esperienza, come ognun vede, è importantissima, perchè generalizza la spiegazione del fenomeno, e presenta un'espressione geometrica di esso, indicata dal liquido medesimo che lo produce.

DEL MOTO DEI LIQUIDI NEI TUBI CONICI, O FRA DUE LASTRE INCLINATE AD ANGOLO PICCOLISSIMO.

365. Se si prenda un tubo conico aperto alle due estremità, e postolo in modo che il suo asse sia orizzontale, si versi nel suo interno una piccola colonna d'acqua, o meglio di olio di arancio, subito si vede il fluido avanzarsi verso il vertice del tubo, e per mezzo della teoria di Laplace se ne comprende facilmente la ragione. Sia infatti $acdb$ (*fig.* 33) una sezione del tubo che passi per l'asse pr (*a*), e sia $fgnm$ la piccola colonna di liquido in una situazione qualunque fra le due estremità del tubo. Le due basi di questa colonna essendo concave, il

(*a*) Il tubo è rappresentato in questa figura sotto la forma di un cono troncato, di cui chd sarebbe la porzione soppressa.

menisco al quale appartiene la concavità *fg*, di curva più sensibile, perchè corrisponde a un diametro minore, esercita una forza maggiore per trarre la colonna verso il vertice, di quello che non faccia il menisco terminato dalla concavità *mn*, di raggio maggiore, per attrarre la colonna stessa verso la base (§. 353). Essendo dunque più forte la prima azione, la colonna si avvicinerà all'estremità *cd* con una celerità sempre crescente, giacchè sempre cresce il rapporto fra le due curvature, finchè la colonna è in moto, tanto perchè essa continuamente si allunga a misura che si avvicina al vertice, quanto perchè la differenza dei due menischi tende sempre naturalmente ad accrescersi.

Accaderà tutto l'opposto se all'acqua si sostituisca mercurio o olio di arancio. In tal caso, poichè le due basi della colonna sono convesse, e la curva maggiore è quella della base superiore, questa differenza sarà la cagione per cui la colonna tenderà ad avanzarsi verso la base del tubo più che verso il vertice, e ciò con una celerità sempre ritardata.

366. Se mentre una colonna di liquido tende verso il vertice del tubo, si inclini a poco a poco il tubo stesso verso l'orizzonte, sicchè restando fisso il punto *p* dell'asse, il punto *r*, per esempio, vada sempre abbassandosi, il moto diverrà più lento, perchè alla sua tendenza a salire sarà contrapposta l'azione contraria della gravità, e vi sarà un punto in cui le due forze essendo in equilibrio, la colonna resterà immobile. Ora, poichè da una parte la gravità è più energica quando l'asse del tubo è più inclinato, e dall'altra parte la forza che attrae la colonna in alto è maggiore in vicinanza del vertice, è chiaro che in generale si deve abbassar meno il tubo verso l'orizzonte per ottener l'equilibrio, quando la colonna è più lontana dal vertice, e al contrario abbassarlo più quando la colonna è più vicina ad esso. Laplace ha dimostrato con l'analisi, che quando la colonna è cortissima, relativamente alla distanza del punto di mezzo *o* di questa colonna dal vertice *h* del tubo, ma che però è assai considerevole, relativamente al diametro che corrisponde a questo medesimo punto di mezzo, il seno dell'angolo che fa l'asse del tubo con l'orizzonte, in caso d'equilibrio, è quasi in ragione inversa del quadrato della distanza dal punto di mezzo della colonna al vertice (*a*).

(*a*) Condotte le linee *ky*, *uz*, tangenti agli archi *fg*, *mn*, e la linea *st* parallela all'altre due, in mezzo ad *lx*, indichiamo *ho* con x, e *ol* o *ox* con a, e rappresentiamo con $\frac{b}{f}$ il rapporto costante fra l'asse del tubo e il suo semidiametro. Avremo $ly : hl\ (= x - a) :: b : f$; e quindi $ly = \frac{b}{f}(x - a)$. Ma

367. Si osserva lo stesso fenomeno in due lastre di vetro unite agli orli ad angolo piccolissimo, sol che le disponiamo in modo che l'orlo d'unione sia orizzontale, e quindi introduciamo fra esse una goccia di liquido. Se nell'intervallo che le separa, ci immaginiamo una linea perpendicolare all'orlo d'unione, che divida in mezzo l'angolo d'inclinazione delle lastre, questa linea è l'asse che rappresenta quello del cono. Newton citando alcune esperienze di questo genere fatte da Hauksbée, osserva che ancora da quelle resultava il rapporto inverso di cui abbiamo

poichè l'azione del menisco *fkyg* per elevare una sottilissima colonna, l'asse della quale si confonde con la linea *lx*, è in ragione inversa del semi-diametro del tubo, nel punto *l*, potremo rappresentarla con $\frac{H}{ly}$, o $\frac{H\,b}{f(x-a)}$; e con un calcolo simile troveremo, che l'azione del menisco *muzn* per attrarre verso il basso la colonna stessa, è $\frac{H\,b}{f(x\ \ a)}$. Sia ora g la gravità, e θ l'angolo che misura l'inclinazione dell'asse del tubo. Se all'azione che trae la colonna verso il basso si aggiunga il peso relativo $2ga$ sen θ di questa colonna, si avrà per la forza con cui essa tende a scendere, $\frac{H\,b}{f(x+a)} + 2ga$ sen θ, dal che si ha l'equazione $\frac{H\,b}{f(x-a)} = \frac{H\,b}{f(x\ \ a)} + 2ga$ sen θ, e di qui $2ga$ sen $\theta = \frac{H\,b}{f}\left(\frac{1}{x-a} - \frac{1}{x+a}\right)$. Sviluppando in serie le due frazioni, e sopprimendo i denominatori che oltrepassano il secondo grado, l'equazione diventa $2ga$ sen $\theta = \frac{H\,b.\,2\,a}{f.\,x^2}$: dunque sen $\theta = \frac{H\ \ b}{gfx}$; e poichè H, b, g, f sono quantità costanti, il seno dell'angolo d'inclinazione è in ragione inversa del quadrato della distanza x fra il mezzo della colonna e il vertice del cono.

Cerchiamo ora il valore assoluto del seno. In un tubo del quale il semidiametro fosse ly, o $\frac{f}{b}(x-a)$, l'azione del menisco sarebbe $\frac{H\,b}{f(x-a)}$: dunque in un tubo di semi-diametro *ot*, l'azione del menisco diventa $\frac{H\,b}{f\,x}$: e se l sia l'altezza a cui si alzerebbe il liquido in questo tubo, avremmo $\frac{H\,b}{f\,x} = gl$. Se sostituiamo il secondo valore nell'equazione sen $\theta = \frac{H\,b}{gfx^2}$, questa si cambierà in sen $\theta = \frac{l}{x}$; e così questo seno è quasi eguale a una frazione, che avrebbe per denominatore la distanza dal mezzo della colonna al vertice del cono, e per numeratore l'altezza alla quale si alzerebbe il liquido in un tubo cilindrico, che avesse per diametro quello del cono preso in mezzo alla colonna.

Digitized by Google

parlato di sopra, rapporto che esiste pure in questo caso fra il seno dell'angolo di elevazione, e il quadrato della distanza del mezzo della goccia alla linea d'unione delle due lastre. Questo gran geometra si sforza di spiegare il medesimo rapporto relativo all'attrazione del vetro per il liquido, ma bisogna confessare che il suo ragionamento non corrisponde all'esattezza del resultamento che ne è il soggetto (*a*).

DEGLI EFFETTI DELLA CAPILLARITA' SULLE PARETI DEI CORPI CHE CONTENGONO IL LIQUIDO.

Fin qui abbiamo supposto che i tubi o le lastre, l'azione delle quali faceva alzare o abbassare il liquido relativamente al livello, avessero le loro pareti fisse ed immobili, sicchè la resistenza di queste impedisse loro qualunque specie di moto. Ma vedremo ora queste pareti medesime libere assolutamente d'obbedire a qualunque forza che le spinga per un verso o per l'altro; e gli schiarimenti che nasceranno da questo nuovo stato di cose termineranno di provare la giustezza della teoria di Laplace.

(*a*) *Optice lucis*, *lib. III*, *quaest.* 31. Nel nostro caso, il seno dell'angolo d'inclinazione è eguale a un rotto che avrebbe per denominatore la distanza dal mezzo della goccia alla linea d'unione, e per numeratore l'altezza a cui si alzerebbe il liquido fra due lastre parallele, distanti fra loro quanto le due lastre inclinate, prendendo la distanza dal mezzo della goccia.

Hauksbée ha fatte varie esperienze di questo genere, servendosi d'olio d'arancio che scorre meglio dell'acqua. I suoi resultamenti concordano in generale col rapporto da noi indicato; e fra gli altri è da notarsi per la sua giustezza quello che dà come il mezzo termine fra tutti gli altri, perchè il mezzo della goccia corrispondeva a quello dell'asse. La distanza fra le due lastre, considerata alle loro estremità, era di $\frac{1}{16}$ di pollice inglese, e la lunghezza di ciascuna lastra era 20 pollici. Nel momento dell'equilibrio, la linea che rappresentava l'asse era inclinata 55′ sull'orizzonte, e la distanza fra il mezzo della goccia e la linea d'unione delle due lastre era 10 pollici; dunque le lastre erano inclinate fra loro $\frac{1}{10}$ di pollice nel punto di mezzo della goccia. Ma l'acqua si sarebbe alzata un pollice fra due lastre parallele poste a una distanza di $\frac{1}{100}$ di pollice (§. 362), e così l'innalzamento dell'olio d'arancio nello stesso caso sarebbe stato di $\frac{1}{3}$ pollice; dunque essa non sarebbe giunta che a $\frac{16}{100}$ di poll. fra due lastre parallele distanti fra loro $\frac{1}{30}$ di pollice. Ma la distanza fra il mezzo della goccia o la linea d'unione era 10 pollici; dunque la frazione che rappresenta il seno dell'angolo che fa l'asse con l'orizzonte è $\frac{16}{100 \cdot 10} = \frac{16}{1000}$, lo che dà 55′ per l'angolo di cui parliamo, conformemente all'esperienza di Hauksbée.

Digitized by Google

368. Immaginiamoci che *ed*, *pc* (*fig.* 30) rappresentino le sezioni parallele di due lastre immerse in un liquido, a una tal distanza che sia sensibile l'azion capillare, e supponiamo che il liquido sia mercurio, nel qual caso esso si abbasserà sotto il livello MN, formando una convessità *qol*, e supponiamo inoltre che le lastre sieno capaci di cedere ad una leggiera pressione. Abbiamo già veduto (§. 363) che esiste equilibrio fra le due sottilissime colonne verticali di liquido *or*, *hs*, poste, la prima nel posto dell'asse del tubo, la seconda nel liquido circostante, e che esercitino un'azione l'una sull'altra per mezzo del canale *sr*. Prendiamo ora a piacere sulle due superficie della parte immersa d'una delle lastre, come *ed*, due punti opposti *k* e *u*; e all'altezza di questi punti immaginiamoci due altri canali strettissimi *iu*, *kx*, paralleli al canale *sr*. È chiaro che le azioni del liquido trasmesse a questi medesimi punti dai due canali, si distruggono scambievolmente, poichè le porzioni di colonna *ox*, *hi* avendo le loro basi inferiori egualmente distanti da quelle delle colonne intere *or*, *hs* che si fanno equilibrio, esercitino eguali forze sui canali *xk*, *iu*, per spinger l'uno verso il punto *k*, l'altro verso il punto *u*. Ma sono eguali ancora le forze che dal canto loro esercitano i canali contro le colonne *ox*, *hi*, perchè queste sono forze di due masse piane, la pression delle quali dipende unicamente dalle molecole vicine ai punti *k*, *u* (§. 353): dunque questi punti non hanno veruna tendenza a muoversi, per parte delle azioni che il liquido esercita sopra di loro; ed è chiaro che le pressioni che questo prova per parte dell'aria tanto esterna che interna, si distruggono esse pure scambievolmente: lo stesso si dica di qualunque altro punto posto fra *d* e *q*. Ma al di sopra di questo punto, la lastra *ed* è premuta lateralmente in fuori dal liquido, senza che vi sia nell'interno alcuna forza che si opponga a questa pressione; e poichè accade lo stesso in modo contrario relativamente alla lastra *de*, le due lastre si avvicineranno fra loro.

369. Supponiamo ora che il liquido s'alzi sopra il livello fra le lastre *ed*, *pc* (*fig.* 29), formando nella sua parte superiore la concavità *fog*. A prima vista parrebbe che queste lastre dovessero allontanarsi l'una dall'altra, poichè abbiam veduto finora le azioni delle masse convesse e concave produrre effetti contrarii: nondimeno l'esperienza prova, che le lastre si avvicinano fra loro ancora in questo caso come nel precedente. Ma questo paradosso che tanti fisici tentarono inutilmente di spiegare, non ha più nulla di maraviglioso se non che la facilità con cui si spiega con la teoria di Laplace.

370. Riassumendo l'ipotesi de'due canali orizzontali *iu*, *kx*, situati come nella fig. 30, con un raziocinio simile a quello che abbiam fatto

per il caso precedente, si concepirà facilmente che essendo in equilibrio i punti *u*, *k* (*fig.* 29), e tutti gli altri situati dalle due parti opposte al di sotto del livello, la lastra *e d*, considerata in questo aspetto, non ha veruna tendenza a muoversi per una parte o per l'altra

Resta ad esaminarsi ciò che accada nei punti in cui la lastra non è bagnata dal liquido esterno. Sia *t z* un nuovo canale orizzontale, preso a un'altezza qualunque sopra il livello. La colonna parziale *o z* esercita sul punto *t*, per mezzo del canale, la forza del piano *a b*, meno quella del menisco *fogba*, e di più quella che la gravità esercita sopra di essa; e se l'ultime due forze che sono opposte, fossero eguali, non resterebbe che l'azione del piano *a b*, con cui sarebbe in equilibrio l'azione del canale *t z*, che è pure l'azione d'una massa piana, e allora il punto *t* non avrebbe alcuna tendenza al moto. Ma la forza del menisco, la quale è eguale a quella di tutta la colonna *o y*, che essa tien sospesa sopra il livello, tende a sollevare la colonna parziale *o z* con un eccesso misurato dalla differenza *z y* fra *o z* e *o y*. Questo eccesso distrugge dunque una porzione della forza del piano *a b*, e però quella del canale *t z* sulla pressione della colonna *o z* resta maggiore, e così il punto *t* è mosso verso la lastra *p c*: lo stesso si verifica per tutti i punti posti al di sopra del liquido circostante. Ora le pressioni dell'aria esterna ed interna sulle due superficie della lastra essendo eguali e contrarie, le azioni loro non possono disturbare l'effetto della indicata tendenza al moto; e poichè tutti i punti corrispondenti del liquido a contatto con la lastra *p c*, hanno un'egual tendenza in direzione opposta, le due lastre, che abbiamo supposte mobili, si avvicineranno fra loro in conseguenza della loro coesione col liquido.

Da quanto abbiamo detto relativamente alle azioni esercitate dall'aria, apparisce chiaramente che il fenomeno deve accadere egualmente nel voto.

371. L'analisi dimostra che se il liquido si alza fra le due lastre, la forza con cui ciascuna di esse tende verso l'altra, equivale alla pressione d'una colonna del liquido stesso, che avesse per altezza la semisomma delle linee $\varepsilon\mu$, $f\pi$, che misurano le quantità di cui i punti estremi delle concavità esterne e interne del liquido si alzano sopra il livello, e la base della quale fosse la porzione di superficie della medesima lastra, compresa fra due linee orizzontali condotte per i punti *f*, ε. Se al contrario si abbassa il liquido fra le lastre, la pressione che spingerà ciascuna di esse verso l'altra è eguale a quella d'una colonna del medesimo liquido, che per altezza avesse la semi-somma delle linee $\mu\,\varepsilon$, $q\,n$ (*fig.* 30), che misurano le quantità di cui i punti estremi delle convessità esterne e interne del liquido si abbassano sotto il livello, e la base

del quale fosse la porzione della superficie della lastra compresa fra due linee orizzontali condotte per i punti ε, q.

APPLICAZIONE ALLE ATTRAZIONI E ALLE REPULSIONI APPARENTI DEI PICCOLI CORPI CHE GALLEGGIANO SOPRA UN LIQUIDO.

Il fenomeno che si osserva in due piccoli corpi, i quali posti a galleggiare sopra un liquido o si avvicinano fino a toccarsi o si allontanano, secondo le circostanze, dipende dall'azione stessa che produce il fenomeno dei tubi capillari; poichè simili corpi non avendo alcuna capacità di attrarsi o respingersi in qualunque altra circostanza, il fenomeno che in questo caso si osserva, dipende unicamente dall'azione delle molecole del liquido a contatto con essi.

372. Se questi due corpi galleggianti sull'acqua sono ambedue incapaci d'esser bagnati dal liquido, come due palline di cera, e se si trovino a poca distanza fra loro, si avvicineranno l'uno all'altro, e giungeranno a toccarsi. Per intenderne la ragione si osservi, che in questo caso la superficie $b\,d$ del liquido (*fig.* 34) comincia a inclinarsi, partendo dal punto d o g a una certa distanza dal luogo dove accade l'immersione della pallina a, e però in questo punto medesimo essa forma una curva convessa in alto; e lo stesso accade per parte della pallina c galleggiante sul medesimo liquido. Finchè le due palline sono a una distanza tale fra loro, che nell'intervallo una porzione del liquido conservi il livello, essendo eguali per ogni verso le pressioni laterali di questo sopra ciascuna delle palline, l'equilibrio è conservato: ma supponendo che la distanza fra le due palline vada sempre scemando, v'è un termine in cui tutto il liquido compreso fra il loro intervallo, soffre un abbassamento analogo a quello che osservammo nel mercurio in cui si immergevano due lastre pc, $e\,d$ (*fig.* 30), poste parallelamente fra loro a una piccola distanza; e in tal caso divenendo maggiori le pressioni laterali esterne del liquido sui corpi, gli spingono l'uno verso l'altro.

373. Se uno di essi a (*fig.* 35) è capace d'esser bagnato, e l'altro b non è capace, come una palla di sughero e una di cera, il liquido si alzerà intorno ad a, e si abbasserà intorno a b; sicchè se vengano avvicinati fra loro a una piccola distanza, la pressione che spinge lateralmente b dalla parte d, essendo più forte di quella che lo spinge dall'altra parte g, in forza dell'elevazione del liquido fra d e la pallina a, l'altra palla b sarà costretta a retrocedere, come se fosse respinta dalla palla a.

Possiamo variare l'esperienza facendo galleggiare sull'acqua una pallina di cera, e quindi immergendo in quest'acqua a una distanza di

qualche millimetro dalla pallina, l'estremità d'un corpo capace d'esser bagnato, come una verga di legno, d'un diametro eguale al diametro di quella, e vedremo la pallina allontanarsi; e se ripetiamo le immersioni della verga, sempre alla stessa distanza, potremo dirigere la pallina a piacere con un moto che sembrerà prodotto da un'azione a distanza.

374. Finalmente se le palline sono tutte e due capaci d'esser bagnate, si avvicineranno fra loro, e in fine si uniranno. Questo effetto che pareva sì difficile a conciliarsi con quello che si osservava in due corpi incapaci d'esser bagnati, si combina con esso fino all'evidenza, per mezzo della teoria di Laplace. L'intervallo fra le due palline può rassomigliarsi a quello che separa due lastre di vetro parallele *p c*, *ed* (*fig.* 29), fra le quali l'acqua si alza sopra il livello. Abbiam visto (§. 370) che queste lastre si avvicinano in forza dell'azione del liquido interposto; dunque si verifica l'effetto stesso relativamente alle due palline, quando son tanto ravvicinate fra loro, che l'azion capillare si estenda in tutto il piccolo spazio che le separa.

Può farsi la stessa esperienza con due aghi finissimi, ponendoli leggermente sull'acqua, sulla quale galleggeranno in virtù del piccolo strato d'aria che è aderente alla superficie loro, come accade in generale su tutti i corpi: il qual volume d'aria potendosi riguardare come eguale al volume dell'ago, fa crescere il volume di questo, senza aumentarne sensibilmente il peso, per lo che diviene specificamente più leggiero dell'acqua. Quindi spingendo uno degli aghi verso l'altro in direzione obliqua, finchè si tocchino con un'estremità, essi si inclineranno l'uno sull'altro ad un angolo che anderà sempre scemando, e finalmente aderiranno fra loro in tutta la lunghezza. Se nell'incontrarsi, l'estremità dell'uno trovi un punto medio dell'altro, il punto di contatto resterà fisso, e gli aghi aderiranno fra loro egualmente, sorpassandosi reciprocamente col resto della loro lunghezza; ma ben presto strisciando l'uno sull'altro, aderiranno come prima in tutta la loro estensione.

Dunque tutti questi fenomeni, attribuiti da molti fisici alle azioni reciproche dei corpi nei quali si osservano, dipendono unicamente dall'attrazione delle molecole acquee tanto fra loro quanto relativamente ai corpi stessi; e quindi questo liquido è il vero motore, coperto sotto le apparenze d'un semplice conduttore.

CIRCOSTANZE IN CUI NASCE LA CONCAVITA' O LA CONVESSITA' DELLA SUPERFICIE DEL LIQUIDO.

375. La maggior parte dei fisici hanno creduto di potere spiegare la differenza fra i liquidi che generalmente si alzano e quelli che si abbassano, relativamente al livello, col supporre che, nel primo caso, l'azione del tubo sul liquido fosse maggiore di quella del liquido sopra se stesso, e nel secondo caso fosse minore. È questo uno di quei principii dei quali non si conosce la falsità se non con una osservazione metodica e rigorosa, perchè appunto appariscono evidentissimi a prima vista. Clairaut infatti con questo mezzo giunse a scoprire l'errore, quando dalle sue formule dedusse l'importante conseguenza, che quando pur l'attrazione del tubo capillare per il liquido, fosse meno intensa di quella del liquido per se stesso, purchè fosse maggiore della metà di questa, il liquido non cesserebbe di salire (*a*).

Questa conseguenza, la quale è pure un corollario della teoria di Laplace, può dimostrarsi con la massima semplicità. Sia *pedc* (*fig.* 36) la sezione verticale di un tubo, immerso nell'acqua MN con la sua parte inferiore *hgcd*, l'azione della quale sul liquido sia eguale alla metà dell'azione reciproca delle molecole dell'acqua. Dividiamo col pensiero questo tubo nel punto di livello MN, in due tubi parziali *epgh*, *ghdc*; e figuriamoci che penetri intimamente in esso un nuovo tubo, che chiameremo A, eguale in natura e in forma a *ghdc*. Se per un momento facciamo astrazione dal tubo *epgh*, è chiaro che la superficie dell'acqua interna sarà a livello, in virtù delle azioni esercitate sopra di essa dai due tubi A e *ghdc*, poichè questi riuniti equivalgono a un tubo d'acqua di eguali dimensioni. Ora, per rimetter le cose nel primitivo stato, bisogna sopprimere da una parte l'azione del tubo A, e dall'altra fare intervenire l'azione del tubo *epgh*. Vediamo dunque in che consistano queste azioni, nell'ipotesi che i due tubi esistessero soli. Sia o un punto preso sulla superficie dell'acqua, e *s*, *r* due punti sulla superficie dei due tubi, ed egualmente distanti dal punto *o*, sicchè le distanze loro in questo punto sieno minori del raggio della sfera d'attività sensibile del tubo: *os* rappresenti la forza obliqua che il punto *s* esercita sul punto *o*: questa forza si decompone in due, l'una *oh* orizzontale, l'altra *ou* verticale. La forza obliqua del punto *r*, rappresentata da *or*, si decompone egualmente in una forza verticale *oz* = *ou*, e in una orizzontale *oh* eguale alla prima: ma la

(*a*) *Théorie de la Figure de la Terre*, L. X, p. 121.

soppressione del tubo A fa sparire la forza *o h*, ristabilita però dal tubo *e p g h*; e quindi tutto resta come prima nella direzione orizzontale, sicchè non v'è alcun cambiamento se non che nelle forze che operano verticalmente (*a*). Il livello dunque non potrà restar alterato, perchè il liquido è mosso da azioni perpendicolari alla superficie, nel che, per legge idrostatica, consiste la condizion necessaria per l'equilibrio.

Passato questo limite, che è il punto in cui l'attrazione del tubo sull'acqua è la metà di quella che le molecole dell'acqua hanno per se stesse, l'innalzamento del liquido sarà sempre più sensibile, a misura che l'azione del tubo differirà meno da quella dell'acqua: e prima d'arrivare a questo limite, il liquido si abbasserà sempre più, a misura che va scemando l'azione del tubo.

376. Questo innalzamento e abbassamento dei liquidi, è una conseguenza del rapporto che esiste fra l'attrazione del tubo per il liquido, e l'attrazion del liquido per se stesso; rapporto che nel primo caso fa prendere al liquido una superficie concava, e nel secondo una superficie convessa. Tutto dunque dipende, come abbiamo già visto, dall'azione negativa del menisco, unito alla massa piana (§. 356), o dall'azione positiva che resulta dall'assenza del menisco staccato dalla massa piana (§. 355); dal che segue che, se ci riesca in qualunque maniera di far variare la figura del liquido, verranno pur cambiati in simil maniera gli effetti della sua pressione.

377. Questa osservazione serve a spiegare l'effetto d'una importantissima esperienza immaginata dal padre Abat, che ha studiato moltissimo sui fenomeni dei tubi capillari, e che dovremmo quasi ringraziare d'aver voluto esiliare l'attrazione da questa teoria, perchè i fatti che ha accumulati contro di essa, hanno accresciuto il numero di quelli che anzi la provano.

Questo fisico avendo preso un tubo capillare AB (*fig.* 37) curvato in forma di sifone, con un braccio più corto dell'altro, lo immerse nell'acqua con la curva in basso, in modo che l'estremità del braccio più corto A era sotto il livello; e l'acqua si alzò, come era naturale, nel braccio più lungo B. Estrattolo quindi dall'acqua, tolse con un dito la goccia che si era formata all'estremità del tubo A, e così in questo punto ridusse piana la superficie dell'acqua. Allora osservò che l'acqua nel tubo B si alzava sopra il livello *c d h* a un'altezza *o r*, come quando era immerso: finalmente introdusse con l'estremità d'un dito qualche goccia d'acqua nel braccio B, finchè la superficie dell'acqua contenuta

(*a*) Se si indichi con *p* ciascuna linea *ou*, *oz*, il cambiamento che accaderà nelle forze verticali sarà rappresentato da $-2p$.

nel tubo A sorpassando l'estremità *c d*, venisse a formare una piccola convessità *c s d*, ed osservò che l'acqua giunta in *x z* nel braccio B, era a una distanza *t x* da un'orizzontale condotta dal vertice *s* della convessità *c s d*, maggiore della distanza *h o* fra il primo livello *c d h*, e l'altezza a cui si era fermata l'acqua nel braccio B, quando la sua superficie era piana in *c d* (*a*).

378. Questa esperienza da noi molte volte ripetuta, rende ancor più visibile la differenza fra le azioni del liquido, secondo la diversità di figura della sua superficie superiore. Quando la colonna contenuta nel braccio A è piana alla sua estremità, la sua azione sull'altra colonna contenuta nel braccio B, che termina in superficie concava, è eguale a quella d'una massa di liquido in cui si immerga un tubo capillare. Se si procuri che la colonna del braccio A divenga rotondeggiante alla sua estremità, questo leggiero cambiamento di figura le da più forza per esercitare un'azione dall'alto in basso, e spingere in direzione contraria il liquido contenuto nel braccio B, di quello che se fosse d'una densità uniforme dalla sua base fino al punto *s*, nel qual caso in conseguenza sarebbe composta d'una maggiore quantità di liquido. Per ottenere quest'ultima figura, bisognerebbe aggiungere alla sua parte superiore un menisco come *a b l q* (*fig.* 28), l'azion del quale indebolirebbe la sua, introducendovi una quantità negativa.

INFLUENZA DELL' ATTRITO SULLA CAPILLARITA'.

L'attrito che per parte delle pareti del tubo prova una colonna di liquido mentre si alza o s'abbassa, può esso pure produrre sulla curva finale certe variazioni che modifichino l'effetto capillare: e una modificazione di tal genere è notabile specialmente nel mercurio.

379. Sia A B (*fig.* 38) un tubo di vetro ricurvo, contenente una certa quantità di mercurio: scuotendo alquanto il tubo, questo metallo liquido si metterà in equilibrio con se stesso nelle due braccia, nelle quali terminerà con due convessità eguali *c d*, *e f*. Se supponiamo che la pressione dell'aria vada a poco a poco crescendo sopra la colonna contenuta nel braccio A, questa si abbasserà alquanto, e altrettanto si alzerà quella contenuta in B. Ma da una parte, l'attrito delle pareti del tubo contro quest'ultima colonna, ritarda il moto di ascensione dello strato a contatto col tubo stesso; e quindi le parti interne della colonna che non soffrono tale impedimento, si alzano con una celerità un poco maggiore. Di qui

(*a*) *Amusemens philosophiques sur diverses parties des Sciences.* Amsterdam. 1763. p. 537. expér. XI.

necessariamente deriva, che i primi piani della superficie superiore del liquido, ossia quelli che son contigui al vetro, fanno con le pareti del tubo un angolo minore, per la qual cosa questa supe rficie prende una forma più convessa come *hk*. Dall'altra parte, mentre l'attrito che prova la colonna contenuta nel braccio A, oppone una resistenza sensibile alla discesa dello strato a contatto col tubo, le parti interne, più libere nel loro corso, scendono con una velocità un poco maggiore: così i primi piani della superficie superiore della colonna, facendo un angolo meno acuto con le pareti del tubo, questa superficie prende una forma meno convessa, come *l o*.

L'azione dunque del mercurio contenuto nel braccio B, per spingere in basso una sottilissima colonna posta nel luogo dell'asse, in circostanze eguali è maggiore di quella del mercurio contenuto nel braccio A, sopra una colonna presa egualmente lungo l'asse; ossia l'effetto della capillarità è aumentato nel braccio B e scemato nel braccio A.

380. Possono osservarsi queste variazioni dell'azione capillare, per mezzo d'una bella esperienza immaginata dal medesimo padre Abat (*a*). Dopo aver introdotto un poco di mercurio nel sifone rovesciato A B, in modo che in tutti e due i bracci esso sia alla medesima altezza, si inclina il sifone, abbassando un'estremità B verso l'orizzonte, finchè il mercurio sia arrivato a questa estremità; quindi si alza di nuovo adagio adagio il sifone fino alla prima situazione, e allora si vede che il mercurio è più alto nel braccio B che nel braccio A. Per comprendere la ragione di questa differenza basta osservare, che mentre il sifone è portato alla sua primitiva situazione, il mercurio del braccio B è in un caso simile a quello della colonna discendente dell'esperienza precedente, mentre il mercurio del braccio A può rassomigliarsi a quello della colonna ascendente. Così nel momento in cui il sifone è stato rimesso nel primo stato, la superficie della colonna di mercurio del braccio B, avendo una curvatura minore di quella della colonna di A, nell'azione esercitata dalla prima dall'alto al basso, ne resulta una diminuzione che è compensata da un innalzamento maggiore di questa colonna.

381. Se si osservino attentamente i moti della colonna di mercurio nel barometro, si ravvisa in essa una tendenza a salire o a scendere, dal vedere la superficie superiore divenir più o meno convessa; ed è questo un effetto dell'attrito, che possiamo però distruggere scuotendo leggermente il tubo. Nel primo caso la superficie dal mercurio diviene meno convessa, e la colonna si eleva alquanto; nel secondo caso la convessità cresce, e la colonna alquanto si abbassa.

(*a*) *Amusemens philosophiques*, p. 515.

382. Da quanto abbiamo detto si rileva, che nel fare le osservazioni barometriche importa moltissimo il misurare l'altezza del mercurio dal vertice della convessità finale, poichè l'innalzamento di questo vertice è minore di quello che si osserverebbe, se, essendo piana la superficie, la colonna fosse esente dagli effetti della capillarità.

Per mezzo di questa teoria i resultamenti delle numerose esperienze fatte sui tubi capillari si deducono dal principio d'attrazione, e ciò non per mezzo di considerazioni superficiali ed incerte, ma con una serie di raziocinii precisi e rigorosi, che non lasciano alcun dubbio sulla verità di essa. Considerandola da una parte a confronto con tutto ciò che era stato detto fin qui su questo proposito, e dall'altra considerandola in se stessa, vi scorgiamo nel tempo medesimo uno dei passi più importanti che la Geometria abbia fatto fare alla Fisica, e una delle più belle applicazioni dei suoi metodi sublimi.

ANALOGIA DI VARII EFFETTI NOTI CON QUELLI DEI TUBI CAPILLARI.

383. L'azione capillare si osserva in una moltitudine di corpi, i quali basta che sieno in contatto con l'acqua, perchè questo liquido si insinui nei piccoli intervalli posti fra le loro molecole; e i soli metalli e i corpi vitrei non sono sensibili a questa azione: quindi è cosa maravigliosa che un piccolo fenomeno, il quale ha una causa limitata in uno spazio appena visibile, acquisti dalla sua generalità una grandezza in certo modo infinita. Sono principalmente notabili le spugne, per l'immensa quantità d'acqua di cui son capaci di imbeversi, e quindi per la gran capacità di dilatarsi: per mezzo dell'azion capillare l'acqua si introduce nell'interno dei vegetabili; e poichè ciò dipende dalla tessitura di essi, si osserva il fenomeno ancora in parti staccate dalla pianta, come un ramo d'albero, il quale immerso nell'acqua con un'estremità, se ne imbeve. Mille altri simili effetti si offrono ad ogni istante al nostro occhio: un pezzo di zucchero posto con una punta a contatto col caffè, in un momento si trova inumidito in tutta la sua estensione; e lo stesso accade ancora se lo immergiamo nell'alcool, quantunque lo zucchero sia insolubile in esso: così posando sull'acqua un mucchio di sabbia o di cenere, il liquido penetra in esso, e lo inzuppa fino all'estremità superiore: il lucignolo serve nella stessa maniera di conduttore all'olio, che percorre i seni capillari di esso, per andare ad alimentare la fiamma d'una lucerna; e così tanti altri corpi chiamati da Muschembroeck *calamite dei fluidi*, denominazione assolutamente impropria, se quel Fisico l'avesse presa a rigore. Alla medesima classe di tubi capillari appartengono tutti i corpi igrometrici.

Digitized by Google

384. Le dandriti o erborizzazioni che adornano la superficie di certe pietre calcaree o margose, derivano da una simile cagione. Fra queste pietre, alcune son piene di fessure, nelle quali si è introdotto un liquido carico di molecole di manganese o di qualche altro minerale, e vi ha lasciata qualche deposizione metallica; e poichè queste fessure formano come una specie di ramificazioni, che spesso sono in comunicazione con una fessura principale, l'artista procura con attenzione di tagliar la pietra in una direzione conveniente, affinchè tutte le sue ramificazioni si sviluppino sopra uno stesso piano, sicchè esse presentano un aspetto come di piccolo albero, il tronco del quale è nel luogo della fessura principale. Altre pietre son composte di piccole foglie, fra le quali è penetrato un simil liquido, e vi si è diffuso a traverso di vene, formando alcune dandriti composte di particelle metalliche poste in linea l'une con l'altre: quindi basta staccare le piccole foglie, e sopra ciascuna delle facce che si uniscono si vede un piccolo disegno che è totalmente opera della natura.

2. DELL' ACQUA IN STATO DI GHIACCIO.

Dopo aver parlato dell'acqua in stato liquido, quando la prendemmo per esempio nel trattare del passaggio dei corpi dallo stato liquido allo stato solido (§. 210), la considereremo ora in stato solido, ossia in stato di ghiaccio; e a questo proposito faremo qualche osservazione particolare sopra alcune altre sostanze, nelle quali si osserva lo stesso fenomeno, ravvicinando così le cause e gli effetti in modo da fissare maggiormente la nostra attenzione.

FORMAZIONE DEL GHIACCIO.

385. Quando una massa d'acqua esposta in un vaso, a una temperatura conveniente, passa allo stato solido, purchè la congelazione non sia prontissima, si osservano in principio sulla sua superficie certi piccoli aghi triangolari, che hanno una faccia a livello con l'acqua; e nel moltiplicarsi in tal modo si pongono gli uni sugli altri, lasciando varii interstizii che vengono successivamente occupati da altri aghi, finchè la riunione di tutti non forma che un corpo solo.

Se la congelazione è lenta, si osserva negli aghi una specie di dentellatura; e l'unione regolare di essi si rassomiglia alle sbozzate cristallizzazioni, che il raffreddamento produce dopo la fusione sulla maggior parte dei metalli, e che sembrano rami di felce: simili congelazioni ramificate si osservano ancora sulla superficie dei vetri in tempo di gelo.

Digitized by Google

Una circostanza particolare di questi medesimi assortimenti è la tendenza degli aghi a unirsi ad angoli di 120° o di 60°, la qual disposizione si osserva con un particolar carattere di simmetria nella neve, che spesso cade in forma di piccole stelle a sei raggi, situati esattamente come quelli d'un esagono regolare.

386. Cartesio, per spiegare questo fenomeno, supponeva sferiche le molecole dell'acqua, e pensava che sei globetti di quest'acqua si disponessero primieramente per ordine intorno a un settimo, e servissero quindi come di punti d'attacco ad altre file di simili globetti, le quali erano nella direzione delle linee che passavano per i centri dei primi, e per quello del globetto di mezzo; ma questa spiegazione era simile a tante altre, che fanno servire i fatti a se stessi, invece di servire esse medesime alla spiegazione di quelli.

Mairan, nella sua Dissertazione sul ghiaccio, che contiene una serie di diligentissime osservazioni, unite alle migliori idee che potesse suggerire la teoria in quell'epoca, si limita a riguardare la disposizione angolare di cui parliamo, come l'effetto di una certa tendenza che dipende dalla figura delle molecole, le quali, secondo lui, son piccoli aghetti; e fra gli altri esempii con cui prova la sua opinione, cita quello della pirite cubica, che ha le facce scannellate alternativamente in tre direzioni perpendicolari l'una all'altra (*a*). Egli riguarda questa pirite come una riunione di aghi, obbligati da queste facce stesse a prendere queste costanti direzioni così incrociate; ma noi abbiamo poi dimostrato (*b*), che la pirite scannellata è come tutte l'altre una riunione di molecole cubiche, e quindi deve riguardarsi come una cristallizzazione sbozzata del dodecaedro a piani pentagoni (§. 124).

387. È meglio supporre che le molecole dell'acqua sieno tetraedri regolari, assortiti in modo da comporre ottaedri regolari, come si osserva nel fluato di calce (*c*), e in alcune altre sostanze minerali. Questa struttura sembra essere indicata dall'aspetto delle congelazioni, che presentano l'origine di alcune forme regolari, e hanno un rapporto assoluto con le dandriti metalliche, le quali sappiamo che son formate di ottaedri regolari, impiantati gli uni negli altri per uno dei loro angoli solidi, di maniera che gli assi di tutti quelli che appartengono a un ramo stesso, sono ordinati sopra una linea sola.

Nella medesima ipotesi, le stelle a sei raggi che presenta la cristallizzazione della neve, potrebbero riguardarsi come analoghe alle ramifica-

(*a*) P. 156. e seg.
(*b*) *Traité de Miner.* t. IV. p. 75.
(*c*) *Ib.* t. II. p. 249.

zioni del ghiaccio; poichè se sia *gd*(*fig.* 39) un ottaedro regolare, diviso in due metà da un piano condotto per il centro z, parallelamente ai due triangoli *geb*, *psd*, è chiaro che la sezione sarà un esagono regolare *hknxco*. Per il centro di questo esagono conduciamo le rette *zv*, *zy*, *zl*, ec. perpendicolari sui lati *kn*, *ho*, *oc*, ec., nel qual caso queste rette faranno fra loro angoli di 60°.

Ora se un ottaedro sia nel centro della stella, e i raggi di questa sieno situati, relativamente ad essa, come le linee *zv*, *zt*, *zl*, ec. relativamente all'ottaedro *gd*, potremo considerare i raggi della stella come riunioni di piccoli ottaedri, posti in fila gli uni con gli altri, ciascun dei quali avrà le sue facce poste parallelamente a quelle dell'ottaedro centrale, dal che segue che in tutti quelli della medesima fila, le facce superiori e inferiori saranno situate sopra piani che corrisponderanno uno al triangolo *geb*, l'altro al triangolo *psd*; e di più i piccoli ottaedri si applicheranno a due a due l'uno contro l'altro, con le facce loro laterali analoghe ai triangoli *ped*, *bde*, *gpe*, ec.

Le stelle poi essendo state prodotte nella loro caduta da una congelazione precipitata, non possono presentare che imperfettissimi abbozzi delle forme che avrebbero prese, se le molecole loro avessero potuto liberamente disporsi secondo le leggi d'un aggregato regolare: sicchè quanto abbiamo detto non deve riguardarsi che come una semplice congettura, con cui si indica soltanto una correlazione fra la cristallizzazione della neve, e quella delle ramificazioni di cui abbiamo parlato in principio.

388. L'acqua che tiene in dissoluzione un sale, lo lascia precipitare nell'atto di congelarsi. In alcuni paesi del Nord si trae partito dal freddo dell'atmosfera, servendosene come d'un mezzo preparatorio per estrarre il sale dall'acqua marina. Si fa penetrare una piccola quantità d'acqua in certe fosse preparate a questo oggetto; e in tal caso una porzione di quest'acqua nel congelarsi abbandona le molecole saline, che si concentrano nella porzione che è tuttora liquida; di maniera che esponendo quest'acqua a un calor moderato, la sua evaporazione fa cristallizzare il sale di cui essa è carica (19).

(19) Si ottiene una prontissima congelazione in un'atmosfera anco più che temperata, con un'esperienza graziosa di Leslie, comunicata nell'anno acorso al P. Gazzeri dall'Autore nel suo passaggio per Firenze, e dallo stesso Professore gentilmente comunicatami. Lo strumento di cui si serve, e che egli chiama *Crioforo* (produttore del ghiaccio), è un tubo curvo di vetro a bracci diseguali, (Tav. A. *fig. a*) e che terminano con una palla, più piccola al braccio più lungo, e più grande al braccio più corto. Introdotta in esso una quantità d'acqua, fino a empirne la metà della maggior palla B, si esclude tutta l'aria dal tubo,

Circostanze in cui l' acqua resta liquida sotto il termine di congelazione.

389. Abbiamo parlato più volte del grado della congelazione, indicando con questo il punto in cui il liquido del termometro corrisponde a zero, tanto se il ghiaccio comincia a fondersi, quanto se l'acqua liquida non principia a congelarsi. Non ne segue però che la temperatura dell'acqua possa abbassarsi ancora sotto lo zero senza congelarsi. Fahrenheit fu il primo ad osservare, non senza maraviglia, che l'acqua contenuta in un matraccio di vetro a collo chiuso, conservava ancora la sua fluidità, dopo essere stata esposta per un giorno e una notte a una temperatura molto più bassa del termine della congelazione. Rompendo la punta del tubo, vide subito formarsi una moltitudine di piccoli ghiaccioli nel mezzo dell'acqua, e ne attribuì in principio la causa al contatto dell'aria; ma un'altra volta portando in mano un simil matraccio contenente acqua tutt'ora liquida, un accidente singolare lo disingannò, poichè inciampando in un sasso, scosse il matraccio, e l'acqua in conseguenza di questa agitazione si congelò nel momento.

Questo effetto è analogo a ciò che accade nella cristallizzazione dei sali. Un leggiero moto impresso a un vaso che contiene una dissoluzione salina, in cui non apparisce ancora verun fenomeno, quantunque abbia passato il punto di saturazione, basta per far nascere a un tratto una moltitudine di piccoli cristalli.

In questo caso si può supporre che l'agitazione del liquido, mentre promuove la separazione delle molecole saline dalle molecole acquee che impediscono ad esse di riunirsi, produca nel tempo stesso nelle prime una moltitudine di moti diversi, dai quali derivano certe situazioni in una parte di esse, vantaggiosissime all'affinità.

È stato osservato ancora che un piccolo cristallo di sale posto in una dissoluzione del sale medesimo, è favorevole alla cristallizzazione, perchè le molecole che compongono questo cristallo, essendo già poste in modo da soddisfare la forza d'affinità, imprimono un certo moto alle molecole vicine affinchè secondino la stessa forza; la qual disposizione

e ottenuto il più perfetto voto, si chiude ermeticamente. Se si immerge nel ghiaccio naturale o meglio nell'artificiale la palla minore A, il gas acqueo sviluppato naturalmente dall'acqua nel voto, e che empie tutto il tubo, si condensa e si riduce in acqua liquida, che cade nella stessa palla A. Con ciò il voto del tubo torna ad esser perfetto, e quindi l'acqua della palla B evapora di nuovo, perdendo sempre così nuova parte del suo calorico; ed è tanto rapida questa operazione, che in pochi minuti l'acqua che resta in B si congela.

si comunica poi successivamente a tutte l'altre che tendono a cristallizzarsi. Nello stesso modo un piccolo ghiacciolo, posto in una massa d'acqua che è già sotto il grado di congelazione, diviene come il segnale di riunione di tutte le molecole che hanno una prossima tendenza a riunirsi.

390. I due effetti di cui abbiamo parlato, cioè l'abbassamento di temperatura dell'acqua sotto il grado di congelazione, restando sempre liquida, e l'improvviso passaggio allo stato solido in virtù di certe circostanze, sono stati il soggetto di una serie d'osservazioni importantissime fatte da Blagden, membro della Società reale di Londra (*a*). Osservò egli che in generale le sostanze capaci di alterare la purità e la trasparenza dell'acqua, la rendono meno capace di resistere all'abbassamento di temperatura senza congelarsi, di quello che se fosse pura e limpida: così l'acqua stillata, scendeva, senza congelarsi, alla temperatura che era il massimo grado di abbassamento; e di più questo abbassamento era ancora maggiore se essa era stata prima sottoposta all'ebullizione: nel qual caso prima di passare alla congelazione, arrivava a 22° F, ossia — 5° R; mentre se non aveva prima bollito, non arrivava che a 24°. F. ossia — 3° $\frac{4}{9}$ R. prima di congelarsi. Blagden attribuisce questa differenza all'aria tenuta in dissoluzione dall'acqua, e sviluppata in tempo dell'ebullizione. L'acqua non stillata si congelava a una temperatura tanto più bassa quanto essa era più impura; e Blagden avendo fatta un'esperienza con acqua di fiume, moltissimo carica di particelle fangose, non potè abbassarne la temperatura sotto i 32° F, ossia 0° R. prima che si congelasse.

391. Si suol dire comunemente che l'acqua si congela più facilmente quando prima ha bollito; e Blagden rileva dalle sue osservazioni ciò che abbia potuto far nascere questa opinione: poichè se l'acqua contiene una certa quantità di terra calcarea tenutavi in dissoluzione dall'acido carbonico, come spesso accade nell'acque di fonte, la terra calcarea precipitandosi nell'ebullizione, intorbida l'acqua, la quale in tal modo acquista una maggior disposizione a congelarsi.

Oltre queste esperienze fatte sull'acqua comune, ne sono state fatte molte altre con acqua modificata con varie sostanze saline, acide o alcaline, solubili o chimicamente combinabili con essa. Già era noto che l'unione di queste sostanze con l'acqua aveva la proprietà di far abbassare più o meno il suo punto di congelazione; ma Blagden osservò di più che per questa medesima unione l'acqua poteva raffreddarsi ancora

(*a*) *Philosophical Transact.*, vol. LXXVIII, an. 1788. p. 125.

sotto il nuovo punto di congelazione, conservandosi in stato liquido, e indicò l'abbassamento di temperatura per ciascun caso particolare.

392. Per non omettere alcuna delle circostanze relative a questo argomento, bisogna osservare due effetti distinti che dipendono dal calorico: primieramente la temperatura del liquido si abbassa sotto lo zero, perchè i corpi circonvicini, più freddi dell'acqua, le tolgono una porzione di calorico in virtù della loro affinità maggiore per questo liquido; ma quando una causa qualunque induca l'acqua a congelarsi, accade la separazione di quella quantità di calorico, che deve appunto svilupparsi perchè accada la congelazione.

393. È noto che l'acqua gelata assorbisce nel fondersi 60° di calore poichè mescolando un chilogrammo d'acqua alla temperatura di 60° con un chilogrammo di ghiaccio a 0°, tutto il calore dell'acqua vien consumato per fondere il ghiaccio, e così per un effetto contrario una massa d'acqua che si congela sviluppa 60° di calore.

È dunque ora facile a spiegarsi perchè l'acqua resta liquida ancora a una temperatura sotto lo zero; poichè se il calorico che si svilupperebbe per motivo della congelazione, per alcune circostanze si comunicasse più lentamente ai corpi circonvicini, ne resulterebbe una causa di ritardo relativamente alla congelazione medesima, perchè quanto è maggior la porzion di calorico che sviluppato tenderebbe a restar nella massa, tanto più si oppone a una delle condizioni necessarie alla congelazione; cioè che la temperatura non si alza mai sopra lo zero, giacchè in tal caso il ghiaccio comincia a fondersi.

Questa lentezza nella trasmission del calorico è di tale ostacolo alla formazione del ghiaccio, che se l'acqua sia chiusa in un vaso non conduttore del calorico, non potrà, in quest'ipotesi matematica, congelarsi mai interamente, se non a una temperatura di 66° $\frac{2}{3}$ sotto lo zero, supponendo con Kirvan e molti altri fisici, che il rapporto fra il calore specifico del ghiaccio, e quello dell'acqua in stato liquido sia come 9 : 10, poichè la quantità di calore che l'acqua sprigiona nel congelarsi, eguaglia, come abbiam già detto, quello che alzerebbe di 60° la sua temperatura. Ora quando questa quantità di calore sviluppato, che supponiamo restare interamente nell'acqua, ha portato l'acqua stessa al punto di congelarsi, il ghiaccio è nel caso stesso, come se la sua temperatura essendo stata prima abbassata di un numero n di gradi sotto lo zero, si fosse elevata fino a zero per l'aumento di una quantità di calore, capace di elevar l'acqua alla temperatura per 60°. Dunque, poichè le elevazioni di temperatura di due corpi, in virtù d'un egual aumento di calore, seguono la ragione inversa dei calori specifici (§. 195.), avremo questa proporzione, $60° : n :: 9 : 10$, dal che si ha

$n=66° \frac{2}{3}$, cioè l'innalzamento di temperatura che produrrebbe la congelazione in questa ipotesi, sarebbe di $66° \frac{2}{3}$, ossia bisognerebbe che tale fosse stata in principio la temperatura dell'acqua.

Se nella medesima ipotesi, la temperatura fosse più vicina a zero, potrebbe nondimeno accadere la congelazione, ma soltanto per una porzione dell'acqua; e supponendo che tutto ciò che è capace di congelarsi, si congelasse di fatto, si troverebbero moltissimi casi possibili d'equilibrio, sicchè con un semplicissimo calcolo si potrebbe determinare la porzione che si congelerebbe per ogni grado di temperatura. Tali circostanze però non si combinano in natura, poichè i corpi circostanti prendono sempre la loro porzione di calorico sviluppato (*a*).

394. In quanto alla congelazione prodotta dall'agitazione del liquido, Blagden ripetendo l'esperienza con moti di varie specie, è giunto a distinguere quali sono i più sicuri per produrre un'assoluta riunione delle molecole acquee. Ha osservato che in generale quest'effetto dipende da un'agitazione particolare prodotta nel liquido, piuttosto che da un moto rapido impresso in tutta la massa: dunque si potrà promuovere la congelazione col battere leggermente un piano solido col fondo del vaso, oppure fregandone le pareti interne o il fondo con un tubo o con una penna: ma fra tutti questi eccitatori della congelazione, quello che più sicuramente riesce è un pezzo di cera, con cui si stropicciano le pareti del vaso in qualche punto inferiore al livello dell'acqua, in maniera da far nascere vibrazioni sonore; e allora si vede comparire a un tratto una crosta di ghiaccio nella parte del vaso che è sotto il punto stropicciato dalla cera.

Della massima densità dell'acqua.

395. Mentre l'acqua passa allo stato di ghiaccio, varia di volume in molte maniere che meritano di esser considerate con attenzione. Esponendo alla congelazione un matraccio pieno d'acqua fino a mezzo, vedremo che l'acqua scenderà in principio in proporzione del suo raffreddamento; arrivata a un certo punto vi resterà stazionaria per qualche momento, e finalmente comincerà a salire; sicchè nell'atto della sua congelazione si troverà sopra il suo primo livello.

Di qui si vede che il volume dell'acqua ghiacciata è maggiore del volume della medesima acqua in stato liquido: dunque la gravità spe-

(*a*) V. la memoria pubblicata da Lavoisier e Laplace, fra quelle dell'Accad. delle Sc. 1780. p. 355. e seg.

cifica dell'acqua scema per la congelazione, come si rileva ancora dall'osservare che i ghiaccioli galleggiano sull'acqua che li trasporta.

396. L'osservazione che abbiamo citata indicava intanto, che la dilatazione dell'acqua in stato di ghiaccio non veniva prodotta a un tratto, o come di salto, nel primo momento della congelazione, ma che principiava più presto, di modo che il punto in cui si concentrava al massimo grado, era a qualche grado sopra lo zero termometrico.

Nondimeno poteva aver luogo un'opposizione, cioè che in questa operazione v'era un effetto puramente apparente, cagion del quale era il vetro che nel raffreddarsi, condensandosi contemporaneamente all'acqua, all'avvicinarsi della congelazione provava una contrazione, la quale era proporzionatamente maggiore di quella dell'acqua. Così spiegavano il fenomeno molti fisici, persuasi che l'acqua appariva crescere di volume, solamente perchè la contrazione del vetro è maggiore della contrazione dell'acqua stessa.

Ma le esperienze fatte da Lefévre-Gineau, col cilindro di cui si servì per misurare la nuova unità di peso, non lasciano alcun dubbio sull'effettiva dilatazione dell'acqua. Pesò egli il suo cilindro a diversi intervalli e con la massima accuratezza, mentre la temperatura dell'acqua in cui lo immergeva, variava sempre avvicinandosi al grado del ghiaccio che si fonde. Egli trovò che il cilindro andava sempre perdendo una quantità del suo peso in proporzione del raffreddamento dell'acqua, e ciò fino al quarto grado sopra lo zero del termometro centigrado, che corrisponde a 3 ½ del termometro di Rèaumur; e dopo questo termine la perdita di peso scemava, a misura che la temperatura si avvicinava al grado della congelazione. Nel primo caso la forza dell'acqua per sostenere il cilindro andava sempre crescendo: lo che prova che questo liquido va sempre maggiormente contraendosi; e nel secondo caso la forza scemava, dal che si deduce che il liquido si dilatava: dunque la massima densità corrisponde quasi a 4.° di calore del termometro centigrado.

397. L'andamento ordinario del termometro è sempre composto del doppio effetto della temperatura, per dilatare o ristringere nel tempo stesso il liquido e il vetro del vaso che lo contiene; per la qual cosa il cambiamento della colonna di mercurio apparisce minore di quello che è effettivamente: ma questa differenza non influisce sui resultamenti delle osservazioni ordinarie, perchè si suppone che fra i due termini che si prendon fissi nella costruzione del termometro, i gradi di dilatazione o di contrazione del mercurio e del vetro sieno sempre proporzionali fra loro.

398. Secondo le osservazioni di Blagden, la dilatazione che soffre

tivamente a certe sostanze, e particolarmente in riguardo dell'acqua. In simili casi le molecole sono di tal figura, che per mettersi in quella dirittura la quale unitamente alle altre circostanze è la causa delle nuove situazioni loro particolari, son costrette a svilupparsi in uno spazio più esteso di quello che richiedeva lo stato di liquidità.

Forza espansiva del ghiaccio.

402. Mairan cercando la gravità specifica del ghiaccio per mezzo della bilancia idrostatica, trovò che il volume dell'acqua nella congelazione cresceva $\frac{1}{14}$ in circa; ma questo effetto è vario secondo le circostanze: e poichè in generale dipende da una particolare disposizione istantanea delle molecole in forza dell'affinità, la quale in questo caso opera con moltissima energia per fissarle, ognuno vede che il ghiaccio può acquistare una forza espansiva considerevolissima, da cui nascono gli sforzi visibili che esso esercita contro le pareti dei vasi nei quali si forma. Se il vaso ha una figura piana, e una larga apertura, la forza del ghiaccio urta in parte contro la faccia piana medesima, che quindi si solleva verso il mezzo, e divien convessa all'esterno; di maniera che le pareti del vaso non dovendo sostenere che il resto della forza stessa, ordinariamente si oppongono ad essa con una bastevole resistenza: ma se il vaso è stretto, è raro che non si rompa per lo sforzo del ghiaccio, che in tal caso esercita quasi tutta la sua forza lateralmente, del che ognuno è stato o può esser testimone.

403. Molti fisici hanno voluto indagare fino a qual grado possa estendersi questa forza espansiva del ghiaccio. Buot espose al gelo un cannone di ferro, grosso un dito, pieno d'acqua e chiuso ermeticamente; e dopo circa dodici ore lo trovò spaccato in due punti: gli accademici del Cimento di Firenze, in una simile esperienza videro spaccarsi una grossa sfera di rame; e Muschenbrock calcolando lo sforzo di tal rottura, lo trovò tale da poter sollevare un peso di 27720 libbre.

404. Quando dopo lo scioglimento del ghiaccio un nuovo gelo converte in ghiaccio l'acqua di cui era inzuppata la terra, questo ghiaccio che è cresciuto di volume, stringe i vegetabili nascenti nel collo delle loro radici, e danneggia così questa parte per cui essi inspirano i succhi nutritivi che somministra loro la terra. Un freddo eccessivo che sopraggiunga nella primavera, nuoce esso pure moltissimo all'interno delle piante che hanno già principiato a svilupparsi; poichè il sugo, che per la maggior parte è composto di acqua, si dilata nel congelarsi, mentre al contrario le fibre della pianta si contraggono, e quindi ne seguono quelli squarci che producono un disordine nell'organizzazione.

La stessa causa estende i suoi effetti distruttori fino sui corpi non organizzati: così si sfogliano le pietre che prima del gelo erano state bagnate; i marmi staccati dalla cava per mezzo della polvere, e nei quali si son formate varie fessure, in conseguenza della scossa sofferta, nel caso stesso del ghiaccio presentano larghe aperture; ed è utilissimo che l'artista conosca la causa di questi accidenti, per essere in stato di prevenirli.

Della congelazione del Mercurio.

408 Fra tutti i liquidi il mercurio è quello che, dopo l'acqua, abbia dato luogo alle più importanti osservazioni. Questa sostanza che sembra tanto singolare per la sua natura, non è che un metallo capace di passare allo stato liquido, sotto una temperatura incomparabilmente più bassa di quella che è necessaria per fondere ordinariamente gli altri metalli, dal che si deduce che il grado di freddo necessario a solidificarlo, è moltissimo inferiore allo zero del termometro. Delisle e Gmelin videro gelare naturalmente il mercurio in Siberia, nei termometri di cui si servivano; ma questo fenomeno o restò ignoto, o non fu creduto: quando nel dicembre del 1759, Braun, membro dell'accademia di Pietroburgo, nell'occasione d'un rigidissimo freddo che regnava allora in quella città, cioè essendo l'atmosfera alla temperatura di — 34° di Fahrenheit, ossia a 29° $\frac{1}{3}$ sotto lo zero del termometro diviso in 80 parti, mescolando ghiaccio pestato con acido nitrico, giunse a fare scendere il mercurio nel suo termometro fino a — 69° di F. ossia a — 44° $\frac{8}{9}$ di R. Allora vide che una porzione del mercurio si era congelata, e incoraggiato da questo primo successo, proseguì le sue esperienze, sostituendo la neve al ghiaccio, col qual mezzo la colonna di mercurio si abbassò maggiormente, e in una dell'ultime esperienze arrivò a — 352° di F. ossia a — 170° $\frac{8}{3}$ di R. Braun estraendo dalla mescolanza il termometro, ed esaminandone esattamente la pallina, non vi scorse alcuna fessura, e frattanto il mercurio era immobile, e restò così per dodici minuti. Dopo alcuni giorni ripetè l'esperienza insieme con Epino; ed avendo di nuovo potuto fissare il mercurio, ruppe la pallina del suo termometro, e ne cavò il metallo che era solido, brillante, malleabile, e che colpito tramandava un suono sordo simile a quello del piombo, al quale si rassomigliava ancora in durezza (*a*).

Non v'era dunque più dubbio che il mercurio non fosse capace di una congelazione propriamente detta, ma restava da conoscersi il vero

(*a*) *Nov. Comment. Acad. Scient. imper.* Petropol., t. XI.

grado di freddo che bastava a produrla. Braun e molti altri fisici hanno creduto questo grado assai più basso di quello che è in sostanza, perchè hanno confuso due effetti separatissimi, cioè la temperatura del mercurio nel momento della congelazione, e la notabile contrazione che provava nel fissarsi, fenomeno diametralmente opposto a quello che si osservò nell' acqua, la quale anzi comincia a dilatarsi prima d'arrivare al grado di congelazione.

406. L'idea che doveva condurre a determinare questo limite, che in quanto al mercurio equivale allo zero del termometro di R. relativamente all'acqua, si offrì contemporaneamente al pensiero di Black e di Cavendish, i quali sembrano fatti per combinarsi nelle scientifiche loro vedute. Applicarono al mercurio il raziocinio stesso che si fa relativamente all'acqua, la quale conserva sensibilmente costante la sua temperatura, dal momento in cui principia a congelarsi, finchè non sia divenuta solida tutta la massa. Cavendish per rendere ancora più chiara l'analogia suggerita da questa osservazione, ne fece l'applicazione ad alcuni metalli che si fondono facilmente come il piombo e lo stagno; e trovò che un termometro immerso in uno di questi due metalli, restava stazionario per tutto il tempo del passaggio dallo stato liquido allo stato solido (*a*).

L'apparecchio destinato alle esperienze relative al mercurio consisteva in un piccolo termometro a mercurio, che veniva introdotto in un matraccio di vetro, il corpo del quale era pieno dello stesso metallo, e circondato da una mescolanza di materie frigorifere. Si vedeva il mercurio scendere progressivamente nel tubo del termometro, finchè non principiava la congelazione di quello contenuto nel matraccio, e fermarsi quindi nel punto stesso per tutto il tempo della congelazione del medesimo; e il grado indicato allora dal mercurio del termometro corrispondeva a circa — 39° di F. ossia — 31 $\frac{1}{2}$° R.; e in un termometro a alcool, costruito con la medesima divisione F., il termine corrispondente era quasi di 28° grado sotto lo zero.

407. L'esperienza della congelazione del mercurio è stata ripetuta più volte a Parigi da alcuni anni in qua; e quelli che hanno avuto il coraggio di prendere in mano il metallo rappreso, hanno provato una sensazione dolorosa, per dar idea della quale l'hanno paragonata a quella che vien prodotta da una forte scottatura, lo che giustifica l'espressione dei poeti, che per descrivere un freddo rigidissimo lo chiamarono *freddo che brucia*.

(*a*) *Philosoph. Transact.*, 1783, p. 313.

CRISTALLIZZAZIONE DELLE SOSTANZE METALLICHE
PRODOTTA DAL RAFFREDDAMENTO.

408. La maggior parte dei metalli nel solidificarsi dopo la fusione si cristallizzano regolarmente. Il calorico opera in questo caso, relativamente a un metallo in stato di fusione, come i liquidi ordinarii relativamente a un sale che tengono in dissoluzione; poichè in ambedue i casi la sostanza esistente fra le molecole metalliche o saline, esalando a poco a poco, fa sì che esse si ravvicinano e si uniscono in forme geometriche, disponendosi fra loro con un ordine conveniente alle leggi della cristallizzazione.

I primi indizii di questi fenomeni sembra che sieno state quelle specie di stelle a più raggi, che si formano sulla superficie dell'antimonio, quali si presentarono in principio all'occhio degli alchimisti, che da alchimisti spiegarono il fatto; cioè, secondo loro, era una stella di felice augurio, che prometteva loro la metamorfosi dell'antimonio in oro.

Le esperienze fatte sul bismuth da Brongniart professore nel Museo di storia naturale, hanno mostrato il primo esempio di un metallo convertito in cristalli salienti, in una maniera simile a quella usata da Rouelle per il solfo, che consiste nel lasciare primieramente rappigliare la superficie del metallo, quindi forare questa specie di crosta, e votare il piccolo crogiuolo così formato. Quando poi si rompe questo crogiuolo, dopo un totale raffreddamento, si trova la sua concavità sparsa tutta di cristalli, che secondo le circostanze presentano gruppi di ottaedri o di cubi disposti sopra linee perpendicolari fra loro, e rientranti come i giri di una voluta.

Fu creduto che il voto lasciato dal metallo che era uscito dal foro, permettendo l'ingresso all'aria, facilitasse la produzione dei cristalli; ma il fatto sta, che i cristalli si formano in mezzo al metallo che è in stato di fusione, per il ravvicinamento delle parti che si raffreddano le prime. Accade di questo metallo come dell'acqua, che si congela in mezzo dell'acqua stessa ancor liquida. Con quel foro non si fa altro che scoprire i cristalli già formati, e separarli dalla materia metallica che li circonda, con la quale nel raffreddarsi formerebbero una sola massa solida; e possiamo accertarci di questo, staccando con una punta di temperino una porzione della crosta che si è formata sulla superficie, la quale troveremo coperta di cristallizzazioni simili a quelle che abbiamo descritte. Il bismuth è uno dei metalli più adattati a questo genere di osservazioni.

Digitized by Google

3. DELL'ACQUA IN STATO DI VAPORE.

Abbiamo già trattato di questo soggetto parlando del calorico, il quale è il principale agente dei fenomeni che presenta l'acqua in stato di vapore. Ci resta solo da esporre molte particolarità che non ebbero luogo nell'esposizione di quei fenomeni, e che dovevamo riserbare a miglior opportunità, per dimostrarle con maggior chiarezza, mentre allora ci limitammo soltanto a quelle che erano più strettamente connesse con i principii della teoria. Ristringeremo però le nostre osservazioni a ciò che si riferisce al vapore considerato in se stesso, riserbando all'articolo dell'aria altre particolarità che dipendono dall'unione del vapore con questo fluido.

409. Quando l'ebullizione, che annunzia il momento in cui il vapore è arrivato alla massima dilatazione, è prodotta per mezzo del fuoco, che supponiamo sottoposto al vaso che contiene il liquido, lo strato inferiore di questo, ricevendo immediatamente il calorico che s'introduce nel vaso, deve pur essere il primo a evaporizzarsi: ma lo stesso effetto accade ancora sotto un recipiente da cui si tolga l'aria, per produrre l'ebullizione con una temperatura assai più bassa di quella, che sarebbe necessaria sotto l'ordinaria pressione dell'aria atmosferica (§. 220.). In tal caso, il raffreddamento prodotto dalla rarefazione dell'aria del recipiente (§. 229), esercita la sua azione sullo strato superiore, e successivamente sugli strati susseguenti, in proporzione sempre decrescente; per la qual cosa lo strato più basso che conserva maggior calore, deve altresì tramandare le prime bolle.

410. Quando l'acqua evaporizzata trova nei corpi che incontra una temperatura molto più bassa della sua, cede subito ad essi una gran parte di quel calorico che la teneva in stato di fluido elastico, e però passando di nuovo allo stato liquido, aderisce alla superficie di questi corpi medesimi in forma di gocce, e da questo deriva quella viva impression di calore, che prova la mano o qualunque altra parte del corpo esposta improvvisamente al vapore dell'acqua.

411. L'estinzione del fuoco prodotta dall'acqua gettata sui corpi che ardono, è creduta dal volgo esser l'effetto di una specie di contrasto fra due sostanze nemiche, che tendono a distruggersi reciprocamente: ma volendo spiegare giustamente il fenomeno, bisogna convenire che per una parte l'acqua impedisce l'immediato contatto dell'aria col corpo combustibile, e per l'altra, nel passare allo stato di vapore, assorbisce una porzione di calorico necessaria per produrre fra le molecole del corpo

Digitized by Google

stesso quell'allontanamento, che le disporrebbe ad unirsi con l'ossigene dell'aria.

412. Mentre l'acqua va riscaldandosi, si dilata in un rapporto maggiore dell'aumento del calore; e ciò diviene sempre più visibile all'avvicinarsi all'ebullizione; lo che facilmente si comprende se si rifletta, che quando per la forza elastica del calorico, le molecole si sono allontanate a una certa distanza, l'affinità la quale non ha forza sensibile se non a contatto, deve scemare con una rapidità sempre maggiore, ancor quando cresca in egual proporzione il calore; sicchè le dilatazioni al contrario cresceranno in una proporzione molto maggiore. Frattanto l'effetto totale della dilatazione, dal termine del ghiaccio che si fonde fino a quello dell'acqua bollente, non cresce che di $\frac{1}{50}$ in circa del volume dell'acqua; ma nel momento dell'ebullizione la dilatazione fa uno slancio improvviso, e secondo le più moderne esperienze, il vapore si sviluppa rapidamente in uno spazio mille settecento ventotto volte maggiore di quello che occupava l'acqua in stato liquido, dimanierachè un pollice cubico d'acqua produce un piede cubico di vapore.

413. Da questa grande espansione dell'acqua evaporizzata dipende l'effetto dell'eolipila, attribuito per tanto tempo alla dilatazione dell'aria. Questa è un vaso di metallo fatto a forma di pera vota, il gambo della quale è un tubo curvo. Si scalda questo vaso per escluderne più che si può l'aria contenutavi, quindi si immerge nell'acqua l'orifizio del tubo, finchè il liquido, in forza della pressione dell'aria esterna, venga ad empirlo per circa due terzi: posta quindi l'eolipila col fondo sopra il carbone acceso, si mantien vivo il fuoco, finchè dall'orifizio del tubo si senta uscire un soffio violento; e finalmente si pone in modo che il tubo stesso sia verticale all'orizzonte, con l'orifizio in alto, seguitando sempre a mantenere vivo il fuoco sottoposto. Allora la porzion d'acqua che è sempre liquida, scacciata dalla forza del vapore, esce in forma di zampillo che si alza qualche volta all'altezza di 8 metri, ossia 25 piedi. Se il liquido è alcool, accostando allo zampillo un lume acceso si vedrà uno zampillo di fuoco.

414. Il vapore dell'acqua divien capace di produrre con la sua forza d'espansione i più maravigliosi effetti. Nelle memorie dell'Accademia delle Scienze per l'anno 1707 si leggono alcune osservazioni di Vauban, il quale trovò che 140 libbre d'acqua convertita in vapore, producono un'esplosione capace di gettare in aria una massa di 77000 libbre, mentre 140 libbre di polvere non possono produrre un eguale effetto, se non sopra una massa di 30000 libbre; sicchè la forza dell'acqua in vapore sarebbe in tal caso più del doppio di quella della polvere.

Macchine a vapore.

Questi effetti tanto potenti non potevano restare sterili per i bisogni dell'arte; ed era naturale che dovessero ben presto divenire una nuova forza motrice per la meccanica in mano di chi l'aveva per così dire creata e ne aveva misurata l'energia. La meccanica per lungo tempo si era servita dell'acqua, o come semplice corrente, o procurandone artificialmente una caduta, per ridurla continua causa motrice di macchine. Le esperienze fatte sulla forza dell'acqua ridotta in vapore, suggerirono l'idea d'applicarla allo stesso fine, e ciò tanto più utilmente, quanto che, indipendentemente dalla sua grande energia, poteva trasportarsi dovunque a piacere, per comodo del commercio e dell'industria.

415 L'esecuzione delle macchine a vapore ha avuto, come tutte l'altre macchine, le sue epoche diverse, alle quali corrispondono successivamente nuovi gradi di perfezione. I fabbricatori di queste macchine, quasi rivalizzando fra loro in fatto di perfezione, si son prefissi il triplice vantaggio di scemare più che sia possibile la quantità dell'evaporazione necessaria all'effetto che si desidera, ed economizzare così il combustibile; di unire a questa prima economia quella della materia e della mano d'opera, ristringendo le dimensioni dei pezzi, senza nuocere all'effetto; e finalmente prevenire le esplosioni con giuste precauzioni, prese contro un agente che può acquistare una forza distruggitrice quando non è trattenuto. Noi ci limiteremo a considerare i principali mezzi di perfezione di queste macchine, delle quali daremo una tal descrizione che basti per l'intelligenza dell'effetto principale.

Tutti i moti della macchina a vapore derivano dall'azione di uno stantuffo, che si alza e si abbassa alternativamente in un tubo cilindrico che comunica con una caldaia, nella quale per mezzo del fuoco sottoposto si forma il vapore. Son varie le maniere con cui si procura che il vapore contribuisca all'azione dello stantuffo; ed è nostro scopo il paragonare queste maniere diverse, per far vedere i vantaggi di quelle che sono state praticate più modernamente.

416. Il primo metodo adottato e imitato con successo sempre felice, è quello che comunemente si attribuisce all'Inglese Savery, ma che in sostanza è stato inventato da due altri Inglesi, cioè Newcomen, e Giovanni Cawley. La macchina che realmente appartiene a Savery, è simile moltissimo alla fontana di compressione di cui parleremo nell'articolo dell'Aria, e nella quale il fluido condensato preme sull'acqua talmente, che l'obbliga a elevarsi per un canale, a traverso del quale trova una libera escita; se non che Savery nella sua macchina

si serviva della forza del vapore in vece di quella dell'aria compressa. Savery prese Newcomen per compagno delle sue osservazioni, si appropriò la scoperta di lui, e quindi la sua ambizione ecclissò ben presto l'uomo semplice e modesto, che si limitava soltanto a ben fare.

Per concepire l'azione di questa macchina a vapore, supponiamo che lo stantuffo sia nel punto più basso del cilindro in cui scorre, ossia corpo di tromba: si apre a un tratto la comunicazione fra la caldaia e il fondo del cilindro, per mezzo d'un moto laterale che forma un cerchio chiamato *regolatore*, il quale prima chiudeva questa comunicazione: il vapore si introduce sotto la base dello stantuffo, e con la sua forza espansiva lo spinge dal basso all'alto. Quando è giunto in cima al cilindro, il regolatore torna nella sua primitiva situazione, e per mezzo di una chiave o *robinet* che vien aperto nel momento stesso, uno zampillo d'acqua fredda esce da un tubo abboccato nel cilindro, e va a colpire la base inferiore dello stantuffo, e da questo punto ricadendo in forma di pioggia, condensa il vapore, e ne distrugge l'effetto. Allora l'aria atmosferica che preme sulla base superiore dello stantuffo, l'obbliga a scendere; e quindi accade successivamente lo stesso, relativamente all'emissione del vapore e degli altri effetti, perpetuandosi così i moti alternativi dello stantuffo.

L'estremità superiore dell'asta dello stantuffo è fissata a un'estremità d'una leva, di cui l'altra estremità fa muovere in direzione contraria il fusto d'un altro stantuffo adattato a una vera tromba, in cui l'acqua si alza nel modo ordinario.

Questa macchina aveva due difetti principali, che ben presto furon conosciuti: per una parte l'acqua fredda introducendosi nello stesso cilindro, ne raffreddava le pareti; dall'altra parte bisognava tener sempre coperta d'acqua la base superiore del cilindro, tanto per impedire che i cuoietti si prosciugassero, quanto per chiudere qualunque accesso all'aria nella parte inferiore del cilindro, per la quale si introduceva il vapore; dal che ne veniva che lo stantuffo nello scendere inumidiva esso pure le pareti del cilindro. Per compensare l'effetto del raffreddamento prodotto da queste due cagioni, bisognava metter in opera una maggior quantità di vapore, dal che resultava un doppio difetto d'economia relativamente all'uso del metallo con cui si costruiva la caldaia, che doveva essere d'una capacità molto maggiore, e relativamente al consumo del combustibile.

417. La macchina immaginata dal celebre Wats, unisce al vantaggio di togliere questi difetti, una tal perfezione per cui essa sembra nuova, sotto qualunque aspetto vogliamo riguardarla. Il distintivo principale di questa è il doppio uso del vapore, una parte del quale si

introduce sotto lo stantuffo, come nella macchina supposta di Savery, e l'altra sopra lo stantuffo medesimo, di maniera che l'interno del cilindro non ha veruna comunicazione con l'aria atmosferica, la quale non influisce in verun modo sull'azione della macchina. Inoltre l'estremità della leva opposta a quella che conduce lo stantuffo del cilindro a vapore, è aggravata di un contrappeso, di cui fra poco vedremo l'uso. Finalmente la parte inferiore del cilindro comunica con un tubo chiamato *condensatore*, che è situato di fianco, e in cui accade la condensazione.

Supponiamo ora che lo stantuffo sia arrivato al più alto punto del suo cammino, di maniera che esista un voto in tutta la parte inferiore del cilindro, e che lo stantuffo sia conservato nella sua situazione dalla sola azione del contrappeso sopraccitato. In tal caso il vapore entra per la parte superiore dello stantuffo, e la sua forza che è molto maggiore di quella del contrappeso, obbliga lo stantuffo a scendere, finchè abbia compita la sua azione. Nel tempo stesso vien introdotta una nuova quantità di vapore nella parte inferiore dello stantuffo medesimo, e l'obbliga a salire, finchè sia in equilibrio fra i due vapori; ed esso prosegue allora a salire per effetto del contrappeso, che in tal caso opera liberamente con tutta la sua gravità. Lo stantuffo nel salire lascia un voto dietro di se, il quale vien riempito dal vapore che ricade in basso dopo essere stato spinto in alto dallo stantuffo medesimo; e quando è terminato questo moto, si apre il condensatore, e lascia passare il vapore nella sua cavità, il quale vi è condensato da un'iniezione d'acqua fredda; quindi lo stantuffo torna di nuovo a scendere e risalire alternativamente, in forza di una simil combinazione di azioni diverse, prodotte dai due vapori e dal contrappeso.

Ognuno vede che questa costruzione è molto meglio ordinata della precedente, per prevenire un consumo superfluo di vapore e di combustibile, cagionato dal raffreddamento del cilindro. La macchina di Chaillot, nelle vicinanze di Parigi, costruita in questa maniera dagl'ingegnosissimi fratelli Perrier, serve, come è noto, ad elevar l'acqua da uno smaltitoio che comunica con la Senna, per distribuirla poi in varii luoghi della Città; e secondo il prospetto che essi medesimi ne hanno dato, questa macchina può somministrare in 24 ore circa 13711 metri cubici, ossia 400000 piedi cubici d'acqua.

418. Fino a quest'epoca non si conosceva nulla che fosse più perfetto in questo genere; quando nel 1788 Betancourt vide a Londra una nuova macchina a vapore eseguita con la massima accuratezza da Wats e da Belton, i quali non gli dissero altro se non che quella macchina serviva all'effetto meglio di qualunque altra, nulla però palesando

intorno al nuovo meccanismo di cui neppure poteva acquistarsi la minima idea, osservando solo esteriormente la macchina. Nondimeno Betancourt indovinò il principio, e tornato a Parigi costruì un modello, applicando questo principio semplice egualmente e ingegnoso.

In questa nuova macchina il vapore si introduce come nelle altre e sotto e sopra lo stantuffo; ma ne è assai più perfetto il meccanismo, perchè l'acqua fredda viene introdotta da tutte e due le parti, di maniera che condensa il vapore superiore, e così l'inferiore può impiegare tutta la sua forza per alzar lo stantuffo; e condensa a vicenda il vapore inferiore, e così il superiore può impiegare tutta la sua forza per abbassarlo. Da questa alternativa resulta che lo stantuffo è spinto con egual forza tanto quando scende che quando sale, la quale uniformità produce notabilissimi vantaggi.

Primieramente è risparmiato il contrappeso, ed ecco intanto ridotta più semplice la macchina: inoltre essendo eguale l'impulso che lo stantuffo riceve nell'una e nell'altra direzione, può applicarsi come una potenza uniforme a un moto di rotazione non interrotto, per ottenere l'effetto che si desidera. Così, mentre nelle prime macchine lo stantuffo contribuisce all'effetto principale solamente quando si abbassa, in questa ha un'azione utile e quando si abbassa e quando si alza. Se dunque quello della prima macchina abbia una base doppia di quella dello stantuffo della seconda, la colonna di vapore che preme sulla base di quello, in circostanze eguali eserciterà una forza doppia di quella che prova la base dell'altro: ma dei due moti del primo, uno non è che di ritorno; quindi è che se il secondo stantuffo, il quale è sempre utilmente in azione, muova una leva doppia, produrrà in due tempi un effetto che l'altro produce solamente quando scende.

Da ciò resulta primieramente un risparmio nella materia del cilindro, e quindi in quella di tutti i pezzi che da esso dipendono. Si può inoltre scemare la capacità e la grossezza della caldaia, perchè non importa che il vapore vi si accumuli come nell'altra, dalla quale non esce che a intervalli. Finalmente la superficie dell'acqua liquida nella caldaia essendovi meno compressa dal vapore che vi si forma al di sopra, una minor quantità di calore basta a farla evaporizzare, dal che resulta l'economia del combustibile.

Tanto di questa come delle altre macchine non abbiamo potuto dare che una semplice idea; e oltrepasseremmo i limiti in cui dobbiamo ristringerci, se volessimo descrivere i diversi accessorii che sono stati usati per introdurre o condensare il vapore, e indicare le diverse maniere usate per conservare l'uniformità di moto, per prevenir gli accidenti che potrebbero derivare da una condensazione eccessiva, ec. A

questo proposito osserveremo, che nelle prime macchine a vapore, era necessaria la mano dell'uomo per aprire e chiudere ad ogni momento le chiavi, per il passaggio del vapore o per l'iniezione dell'acqua fredda; e ora tutto si eseguisce per mezzo di meccanismo, e basta la vigilanza di quello stesso individuo che presiede alla conservazione del fuoco. La forza del vapore che mette in moto il corpo della macchina, vien trasmessa alla varie parti della medesima, le quali fanno le veci di mani e di braccia; e quell'ingegno stesso che ha saputo convertire poca acqua penetrata dal calore, in un agente capace di produrre certi moti che richiederebbero potentissimi sforzi, è giunto ancora ad esser sicuro sulla causa di quelli che per se stessi richiederebbero attenzione e vigilanza continua.

Così paragonando gli effetti dell'acqua nei suoi due stati estremi di solidità e di fluido elastico, si rileva con doppia maraviglia la grande energia con cui essa si fa strada a traverso dei più forti ostacoli, tanto se le sue molecole possano liberamente obbedire alla forza che tende a incatenarle fra loro, quanto se esse sieno spinte da una forza che tende ad allontanarle l'une dall'altre.

V. DELL' ARIA.

419. Dopo avere esposte le proprietà del liquido che bagna la superficie del nostro globo, o scorre nel suo seno, passeremo a considerare quelle del fluido invisibile che lo circonda fino a una considerevole altezza. Oltre l'amor della scienza per cui apparisce sì importante questo argomento, un utile grandissimo per noi ci invita a studiare un fluido, in mezzo al quale siamo continuamente immersi, che opera sopra di noi in tante maniere differenti, e a cui siamo debitori nel tempo stesso e della conservazione della nostra vita, e di ciò che ne forma uno dei principali piaceri, giacchè ad esso appunto confidiamo i nostri pensieri, per mezzo della parola che ne è il segno sensibile, affinchè li trasmetta ai nostri simili.

420. Sempre è stata ritrovata nell'aria una quantità di principii eterogenei, di emanazioni di diverse specie, e soprattutto di vapori acquei; ma però era egualmente opinion generale che, spogliata l'aria di tutte queste sostanze estranee che ne alterano sempre in qualche parte la purità, restava un essere semplice, e uno dei quattro elementi a cui in fine si riducevano tutti i corpi. Ormai è provato che questo fluido è composto di due principii diversi, chiamati *gas ossigene* e *gas azoto*, il primo dei quali, se esistesse solo e separato da ogni altra sostanza, sarebbe troppo respirabile: e consumerebbe troppo presto la

nostra vita; e l'altro, parimente solo, soffogherebbe gli animali che vi fossero immersi; e dalla mescolanza di ambedue resulta un fluido adattato alle funzioni dell'economia animale. Le particolarità relative a questo soggetto, come pure il modo con cui l'aria si scompone nell'atto della respirazione, appartengono alla scienza che ci ha svelata la vera natura di questo fluido. In quanto a noi, la riguarderemo soltanto nel suo stato ordinario, riducendo a quattro articoli tutte le nostre ricerche su questo proposito: nel primo vedremo le proprietà più costanti dell'aria, come la gravità e l'elasticità; nel secondo osserveremo quelle che resultano dalla sua dilatazione, in conseguenza d'una sovrabbondanza di calorico; nel terzo la riguarderemo nel suo stato d'unione con l'acqua, della quale è il dissolvente; nel quarto finalmente considereremo quel moto particolare di vibrazione, per cui l'aria diventa il conduttore del suono.

1. DELLA GRAVITA' E DELLA ELASTICITA' DELL'ARIA.

421. Galileo, il nome del quale si associa naturalmente nel pensiero a qualunque idea di ricerca sulla gravità, aveva verificata la gravità dell'aria, quasi universalmente negata prima di lui, quantunque riconosciuta da qualche filosofo dell'antichità. Questo celebre fisico avendo introdotta una quantità d'aria in un vaso di vetro, e avendovela compressa, trovò che il vaso pesava più che quando l'aria in esso contenuta era nel suo stato naturale. Con un'altra esperienza, volle fare il confronto fra la gravità di questo fluido e quella dell'acqua, ma la trovò soltanto in ragione di 1 : 400, cioè molto inferiore al vero rapporto, come fra poco vedremo.

Idea della Macchina Pneumatica.

422. Frattanto non era ancor nota la macchina pneumatica, la quale fu poi inventata da Ottone di Guericke, console di Magdeburgo; e tal macchina non ha come le altre un posto a parte nella Fisica sperimentale, perchè quasi tutti i rami di questa scienza hanno bisogno di essa.

Questa macchina, ridotta alla sua maggior semplicità, è composta d'un cilindro verticale di ottone, nel quale scorre uno stantuffo: alla base superiore del cilindro è posta una chiave, sopra la quale è saldato un piatto circolare posto orizzontalmente: su questo piatto si pone il recipiente da cui si vuole estrarre l'aria, lo che si eseguisce col fare scendere e salire alternativamente lo stantuffo. Nel primo caso la chiave

è aperta, e quindi esiste una comunicazione fra la capacità del recipiente e quella del cilindro; quando è sceso lo stantuffo si chiude la chiave, che per mezzo di un'orifizio opportunamente disposto, apre un'adito all'aria a traverso del corpo dello stantuffo, la quale non potendo rientrare nel recipiente, è spinta fuori all'alzarsi dello stantuffo medesimo. In diverse maniere però è stata in seguito costruita questa macchina; e gl'Inglesi specialmente l'hanno costruita con due corpi di tromba, nei quali scorrono alternativamente i due stantuffi per mezzo di un manubrio e d'una rota dentata; alcune valvule aprono e chiudono alternativamente la comunicazione fra il recipiente e i corpi di tromba, e fra questi e l'aria esterna; sicchè non si fa uso della chiave che due volte soltanto, cioè prima dell'esperienza per aprire il passaggio all'aria che deve escire dal recipiente, e al fine dell'esperienza per conservare il voto.

Esperienze sulla Gravità dell'Aria.

423. Per mezzo della descritta macchina i Fisici hanno provata la gravità dell'aria con una semplicissima esperienza, cioè pesando un globo pieno d'aria, e pesandolo quindi dopo averne procurato il maggior voto possibile, trovando notabilissima la differenza fra i due pesi del globo.

Volendo stabilire esattamente la gravità specifica dell'aria, Deluc trovò che, alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e sotto una pressione media di 28 poll. di mercurio, il rapporto fra i pesi dell'aria e dell'acqua stillata è di 1:760; e più modernamente Biot, facendo più esatte esperienze, lo trovò di 1:770, 30.

Innalzamento dell' Acqua nelle Trombe.

424. Riconosciuta la gravità dell'aria, pareva che questa proprietà dovesse riguardarsi come la vera causa dell'innalzamento dell'acqua nei corpi di tromba; ma per giungere a questa cognizione fu necessaria una di quelle osservazioni inaspettate, che sembrano fatte per eccitar negli spiriti quella specie di inquietudine e d'agitazione, che sogliono essere le prime cause di nuove scoperte.

Tutti sanno che quando gli antichi filosofi venivano interrogati sulla causa dell'innalzamento dell'acqua nelle trombe, scioglievano ogni questione rispondendo che *la natura aveva orrore al voto*, cioè confessando in un modo fastoso e imponente la loro perfetta ignoranza su questo proposito. Alcuni fontanieri italiani, nell'occasione di dovere

far salire l'acqua a un'altezza maggiore di 32 piedi, per mezzo di trombe aspiranti, osservarono con maraviglia che l'acqua *non voleva* alzarsi sopra questa altezza, e domandarono a Galileo la spiegazione di questo fenomeno singolare: ma si dice che interrogato egli all'improvviso rispondesse, che la natura non aveva orrore al voto se non fino all'altezza di 32 piedi. Torricelli scolare di Galileo, avendo riflettuto su questo fenomeno, congetturò che l'acqua si alzasse nelle trombe per causa della pressione dell'aria esterna, pressione che secondo lui non aveva forza se non che di contrappesare una colonna d'acqua di 32 piedi. Verificò questa congettura con un'esperienza, la quale produsse un doppio vantaggio, cioè l'evidenza di questa importante scoperta, e l'invenzione del barometro. Torricelli vide il mercurio fermarsi a 28 pollici in un tubo di vetro chiuso ermeticamente all'estremità superiore, e situato verticalmente; e poichè questa altezza era a quella di 32 piedi nella ragione inversa delle densità dell'acqua e del mercurio, egli concluse che questo fenomeno apparteneva alla Statica, e che realmente la pressione sola dell'aria era la causa per cui l'acqua e il mercurio si alzavano fino alla formazione dell'equilibrio, come appunto egli aveva previsto (20).

Fatta questa scoperta nel 1643, una lettera venuta d'Italia al padre Mersenne nell'anno successivo sparse per la Francia l'esperienza di Torricelli, la quale fu ripetuta nel 1646 da Mersenne e Pascal; e quest'ultimo nel 1647 immaginò un mezzo di renderla ancor più decisiva, eseguendola a diverse altezze. Con tal fine invitò l'amico Pèrier a ripeterla sulla montagna del Puy-de-Dôme, e ad osservare se la colonna di mercurio scendeva in proporzione che egli andava portando più in alto il barometro. Dalla lettera di Pascal a Pèrier, nella quale sembra che scansi a bella posta di nominar Torricelli, si rileva che non aveva ancora totalmente rinunziato alla chimera dell'orrore che era stato attribuito alla natura per il voto; e mentre conveniva che questo orrore non era insuperabile, non ardiva di assicurare che esso non fosse per trovarsi vero in qualche circostanza; ma il pieno successo dell'espe-

(20) In fatti la lunghezza di due colonne d'egual diametro, una d'acqua e una di mercurio, devono essere in ragione inversa delle gravità specifiche dei due fluidi. Dunque poichè la gravità specifica del mercurio è 13,5681 in circa, e quella dell'acqua è 1, la lunghezza della colonna d'acqua starà alla lunghezza della colonna di mercurio, come 13,5681 sta a 1., e in fatti dalla proporzione 32 pollici a 2 pollici e $\frac{1}{2}$: : 13,5681 : 1 si hanno due prodotti quasi eguali. Inoltre si verifica ciò ancora col peso, poichè 32 piedi d'acqua a 70 libbre per piede cubico, formano un peso quasi eguale a quello di 28 pollici ossia 2 $\frac{1}{3}$ piedi di mercurio a 950 libbre per piede cubico.

tienza lo disingannò perfettamente, quantunque questa esperienza non fosse che una conferma di quella del Torricelli, la quale, tutto al più, veniva rischiarata soltanto da un nuovo raggio di luce.

Effetti della Pressione dell'Aria sul Corpo umano.

425. Poichè l'aria atmosferica preme sopra una data superficie quasi quanto una colonna d'acqua di 32 piedi d'altezza, con questo dato è stato calcolato l'effetto di tal pressione sopra un uomo di media statura, ed è stato trovato equivalente al peso di libbre 33600 ossia 16000 kilogrammi: ecco il peso di cui erano caricati gli antichi filosofi che seriamente negavano la gravità dell'aria.

Non ostante un tal peso non ci accorgiamo della sua azione sopra di noi, alla quale fa equilibrio la reazione dei fluidi elastici contenuti nell'interne cavità del nostro corpo; e quantunque l'aria sia soggetta a continue variazioni in quanto alla sua densità, in conseguenza del cambiamento di temperatura e dell'azione di varie cause naturali, pure siamo pochissimo sensibili a queste variazioni, perchè piccole per se stesse e poco estese, e perchè accadono successivamente e con molta lentezza. Che se uno di tali cambiamenti accada all'improvviso, come quando l'uomo si eleva a una grande altezza, la rottura di equilibrio in tal caso produce un certo disordine nell'economia animale: l'uomo allora si sente affaticatissimo, si trova assolutamente impotente a proseguire il suo cammino, prova un assopimento al quale non può resistere, respira con fatica e con frequenza, e le pulsazioni del suo polso vengono accelerate (*a*). Per spiegare questi effetti è stato osservato, che per una sana e regolare respirazione, bisogna che una certa quantità d'aria determinata passi in un dato tempo per i polmoni; quindi se l'aria che respiriamo divien più rara, bisognerà che le inspirazioni sieno più frequenti, lo che renderà più difficile la respirazione, e produrrà i diversi sintomi che abbiamo accennati.

Non esistono cause naturali che espongano l'uomo agli effetti d'un'aria troppo condensata, ma forse questi sarebbero meno nocivi di quelli d'un'aria troppo rarefatta. Nè contro questa opinione può citarsi per esempio ciò che accade ai palombari, chiusi in una campana che si cala verticalmente nell'acqua, e in cui l'aria premuta dalle colonne acquee circostanti, si condensa sempre maggiormente, a misura che il vaso vien calato a maggior profondità; poichè gl'incomodi che essi provano dopo esser restati per qualche tempo sotto la campana, dipen-

(*a*) *Saussure, Voyage dans les Alpes*, n. 659, e 2021.

dono in gran parte da un'aria alterata dalla respirazione, e che non può cambiarsi con altra aria.

Del Barometro (21).

426. Il Barometro, considerato nella sua massima semplicità, consiste in un tubo di vetro, lungo un poco più di 30 pollici, e chiuso ermeticamente all'estremità superiore. Questo tubo si empie di mercurio ben purgato d'aria per mezzo dell'ebullizione; quindi tenendo chiuso con un dito l'orifizio si rovescia il tubo, e con questa estremità si immerge in un pozzetto di mercurio. Ritirando il dito si vede il mercurio stesso scendere nel tubo, e fermarsi all'altezza di circa 28 pollici; e allora si fissa il tubo col suo pozzetto sopra una tavoletta divisa in pollici e in linee, partendo dal livello del mercurio del pozzetto; e così abbiamo un mezzo di osservare le variazioni della pressione dell'aria, in forza delle cause da cui dipendono i fenomeni della meteorologia.

427. Questa costruzione però è soggetta a una imperfezione, poichè la colonna del mercurio nello scendere o nel salire, obbliga una piccola porzione del mercurio del pozzetto a entrare nel tubo o una porzione di quello del tubo a passare nel pozzetto: per la qual cosa i moti della colonna indicati dalla scala trovandosi alquanto impediti, non sono esattamente proporzionali alle diverse pressioni dell'aria. Da ciò nasce la variazione del livello, sicchè esso non sempre corrisponde allo zero della scala, e che dall'altra parte è il principio a cui si riporta l'osservazione dell'altezza alla quale corrisponde l'estremità della colonna sulla scala medesima; ma questa imperfezione è tanto minore quanto il pozzetto è più largo verso il punto del livello. Molti mezzi sono stati praticati per perfezionare questo strumento: così in alcuni barometri la scala è stata fatta mobile lungo la colonna; di maniera che per mezzo di una vite di richiamo, si può sempre esattamente portare la linea di livello in faccia allo zero della scala. Allora si sostituisce al pozzetto una porzione dello stesso tubo dello strumento, che in tal caso è curvato nella sua parte inferiore, poichè si può sempre correggere col moto della scala la variazione sensibile di livello che ne resulta. Altri fisici usano ancora un secondo pozzetto di maggior capacità, non pieno totalmente di mercurio, e nel quale si immerge il pozzetto del barometro. Quando si vuol fare un'osservazione, si alza il barometro col suo pozzetto sopra il mercurio che lo circonda; e poichè in tal caso questo pozzetto si

(24) Il principio su cui è fondata la teoria del barometro è indicato al §. 300.

trova sempre pieno, la linea di livello indicata dalla superficie superiore del mercurio contenutovi, conserva una situazione costante, relativamente alla graduazione.

428. Da quanto abbiamo detto si rileva, che la scala del barometro è regolata sopra un principio diverso affatto da quello del termometro. In questo strumento i moti del liquido si misurano in parti proporzionali alla distanza fra i due limiti fissati dall'osservazione, i quali variano nei diversi termometri al variar delle circostanze; mentre nel barometro in cui non è che un sol termine fisso, cioè il livello a cui si pone naturalmente il mercurio fin da principio, l'altezza della colonna si misura in un modo assoluto, e cresce e scema di quantità o gradi eguali in tutti i barometri sottoposti alle stesse variazioni dell'atmosfera.

429. Volendo introdurre la division decimale nella scala del barometro, i limiti delle variazioni della colonna, che si estendono da 26 a 29 pollici, corrisponderanno, uno a 70, e l'altro a 78 centimetri dalla linea di livello, cioè 8 centimetri per il campo dell'osservazione: nello stesso caso l'innalzamento di 28 pollici corrisponderà a 758 millimetri.

430. Poichè l'altezza media del barometro, come abbiamo veduto, è circa $0^{met.},76$, e poichè il rapporto fra la gravità specifica del mercurio e quella dell'aria, relativamente alla medesima altezza, è di 10475,68: 1, come resulta da un'esperienza che citeremo fra poco, facilmente potremmo conoscere l'altezza dell'atmosfera, se l'aria di cui essa è composta, fosse densa egualmente alla superficie della terra e a qualunque altezza dalla medesima. In tal caso basterebbe moltiplicare questo rapporto per $0^{met.},76$, e avremmo $7961^{met.},5$ ossia 4084 tese in circa, per l'altezza cercata; ma questa conclusione non può esser vera, perchè l'aria scema di densità a misura che i suoi strati son più lontani dalla superficie della terra. Parlando delle leggi a cui è soggetta la luce, indicheremo un altro mezzo che tende allo stesso fine, quantunque lasci finora qualche incertezza sulla conseguenza che ne è stata dedotta.

Esperienze sull' elasticità dell' aria.

431. Molte esperienze provano l'elasticità dell'aria, fra le quali una delle più comuni è quella che si fa con una macchina chiamata *fontana di compressione*. Essa consiste in un vaso di metallo di forma rotonda, con un orifizio dalla parte superiore, per cui si empie d'acqua fino a $\frac{2}{3}$ in circa della sua capacità: allo stesso orifizio si adatta quindi a vite un tubo che arriva fino a una piccola distanza dal fondo, e che

un poco sopra l'orifizio stesso è munito di una chiave: lasciando questa aperta, vi si adatta una tromba premente; con cui si introduce una gran quantità d'aria, la quale per la sua leggerezza resta sopra l'acqua, e la preme con una forza d'elasticità, che cresce a misura che con ripetuti colpi di stantuffo vi vien condensata: si chiude quindi la chiave, si leva la tromba, e vi si adatta in vece un piccolo tubo fatto in forma di cono, col vertice aperto in alto. Aprendosi allora la chiave, l'aria esercita la sua forza sulla superficie dell'acqua, e la spinge dentro questo tubo, dal quale esce in forma di zampillo, e si eleva a dieci metri di altezza, ossia 30 piedi, e più ancora.

Può ottenersi un simile effetto col rilassare soltanto l'elasticità naturale dell'aria, ponendo sotto il recipiente della macchina pneumatica un vaso simile alla fontana di compressione, se non che l'aria che in questo preme la superficie dell'acqua, è nel suo stato ordinario. Facendo il voto sotto il recipiente, l'aria che preme la superficie dell'acqua, non essendo più in equilibrio con l'aria esterna, si dilata e fa sorgere uno zampillo che si alza dentro al recipiente.

Varii fenomeni prodotti dalla gravità e dall'elasticità dell'aria.

432. Supponendo per un momento che l'aria dell'atmosfera sia dovunque densa egualmente, e riflettendo quindi agli effetti della gravità su diversi strati di questo fluido elastico, si vede chiaramente che ciascuno strato compresso dal peso degli strati superiori si ristringerà e diverrà di minore altezza, e che la densità degli strati scemerà in proporzione della distanza loro dalla superficie della terra, perchè essi son premuti da minor numero di strati superiori, e ciò appunto accade nell'atmosfera. In seguito faremo conoscere la legge con cui scema questa densità, e come questa cognizione abbia servito per misurare le altezze per mezzo del barometro.

433. È chiaro egualmente che una parte qualunque di una colonna atmosferica, presa in vicinanza della superficie della terra, deve sempre con la sua elasticità far equilibrio alla pressione della porzione superiore. Così l'aria contenuta in un bicchiere posto rovesciato sopra un piano perfetto, eserciterebbe uno sforzo per spingere il fondo del vaso dal basso in alto, eguale a quello con cui l'aria esterna tenderebbe a spingerlo per la parte contraria, e quindi non proveremmo niuna difficoltà nell'alzarlo.

Ma per poco che si diminuisca l'aria interna, come accade quando si fa il voto sotto il recipiente della macchina pneumatica, l'aria esterna

non essendo più in equilibrio con l'interna che resta, sarà tanto più difficile alzare il bicchiere, quanto più perfetto sarà il voto.

434. Dai principii precedentemente stabiliti si deduce ancora, che se si prenda presso la superficie della terra una quantità d'aria, la quale avrà una forza d'elasticità capace di far equilibrio a una pressione di 76 centimetri di mercurio, e si introduca in uno spazio voto nel quale possa dilatarsi, la sua forza d'elasticità, scemata per causa della dilatazione, starà alla forza primitiva, in ragione inversa dei volumi o degli spazii relativi ai due stati successivi di questo fluido. Possiamo verificare questa conseguenza con un'esperienza molto importante, cioè introducendo in un barometro ordinario una quantità determinata d'aria, servendoci per misura di un tubo di nota lunghezza, e di diametro eguale a quello del barometro. Quest'aria arrivata sopra la colonna del mercurio, si dilaterà in quello spazio voto per effetto dalla sua elasticità, e farà abbassare il mercurio, finchè la sua forza d'elasticità unita al peso del mercurio che resta nel tubo, sia in equilibrio con la pressione dell'atmosfera. Per mezzo di un semplice calcolo si potrà determinare anticipatamente a quale altezza l'aria si estenderà nel dilatarsi, ossia l'altezza a cui si fermerà la colonna del mercurio. Per esempio se il tubo ha 90 centimetri di altezza, e vi si introducono 8*cent.*, 25 d'aria, supponendo che la pressione dell'aria atmosferica alla quale in principio era sottoposto il mercurio, fosse di 76 centimetri, si troverà che questo liquido scenderà a 57 centimetri sopra il livello; e però lo spazio occupato dall'aria sarà di 33 centimetri (*a*).

(*a*) Sia in generale h l'altezza del tubo, partendo dalla linea di livello, p la pressione dell'atmosfera, n la quantità d'aria, o la porzione dell'altezza del tubo che occuperebbe questo fluido, se conservasse la sua densità primitiva, e sia x l'altezza alla quale si fermerà il mercurio dopo la dilatazione dell'aria; $h-x$ sarà la parte dell'altezza del tubo in cui dilatandosi l'aria si estenderà. Ora gli spazii occupati dall'aria nei suoi due stati essendo in ragione inversa delle densità, si avrà $h-x : n :: p : \frac{np}{h-x}$, che esprimerà la densità o la forza dell'aria dilatata. Ma quest'ultima quantità accresciuta di x che esprime l'altezza, e nel tempo stesso la forza del mercurio, deve essere in equilibrio con la pressione dell'atmosfera, dunque $\frac{np}{h-x} \quad x = p$, da cui si ha $x^2-(h+p)x=np-hp$, $x=\frac{h+p}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{4np+(h+p)^2}$.

Se sia $h=90$ centimetri, $p=76$ centimetri, $n=8,25$ centimetri, si trova $x=57$, e $x=109$: il primo valore conviene alla supposizione presente, e dà $76-57=19$ centimetri per l'espressione della forza dell'aria dilatata: il se-

FONTANA INTERMITTENTE.

435. Ciò che abbiamo detto intorno alla gravità e all'elasticità dell'aria, ci serve a spiegare gli effetti prodotti dalla fontana detta *intermittente*, rappresentata dalla *fig.* 40. ABC è un globo di vetro o di qualunque altra materia, traforato con alcuni buchi ai quali si adattano altrettanti piccoli tubi *n*, *o*, *r*, *s*, e a traverso del quale, nella direzione dal suo asse verticale, passa un tubo CZ, che con la sua estremità superiore *i* arriva quasi al vertice *o*, e con l'estremità inferiore è incastrato esattamente in un cilindro voto SD, fissato nel fondo d'un piccolo pozzetto MT. L'estremità inferiore del cilindro è incavata lateralmente in *u*, e per mezzo di questa incavatura esiste una libera comunicazione fra l'aria contenuta nel vaso ABC, e l'aria esterna. Il pozzetto ha un piccolo foro per cui comunica con un serbatoio K posto sotto di esso. Per mettere in azione questa fontana, si leva il tubo CZ dal cilindro SD, si rovescia, e con esso si introduce l'acqua nel vaso ABC finchè sia pieno; si rivolta di nuovo il tubo e si rimette nel cilindro: allora l'aria esterna che può passar liberamente per l'incavatura *u*, preme la superficie *ab* del liquido, ma esercita una forza sensibilmente eguale sull'acqua che tende a escire per i tubi *n*, *o*, *r*, *s*, sicchè fin qui l'acqua è in equilibrio fra le due forze dell'aria; e però scorrerà a traverso dei piccoli tubi in forza del proprio peso. A misura che il pozzetto MT riceve l'acqua da questi tubi, ne lascia uscire una porzione dal suo foro; ma poichè la quantità d'acqua che riceve è maggiore di quella che perde, accade che l'incavatura *u* resta chiusa, e quindi è impedito il passaggio dell'aria nel vaso ABC. Frattanto l'acqua seguita a scorrere per qualche momento, mentre si dilata l'aria interna, fin che la sua elasticità non sia talmente indebolita, che quella che le resta, unita al peso dell'acqua, faccia equilibrio alla pressione esercitata dall'aria presso i

condo valore è relativo a un altro problema in cui si supponesse un tubo chiuso in basso, aperto in alto, e d'una lunghezza *h*. Si supporrebbe in oltre nel fondo del tubo una colonna di mercurio d'un'altezza ossia di una pressione eguale a *p*, sopra questa una colonna d'aria che sotto la pressione dell'atmosfera occupasse lo spazio *n*, e finalmente sopra questa un'altra colonna di mercurio che empisse il resto del tubo. Questo tubo si considererebbe come posto sotto un recipiente in cui si facesse il voto; allora l'aria del tubo si dilaterebbe, escludendo una porzione della colonna di mercurio che peserebbe sopra di essa, finchè la sua elasticità facesse equilibrio al resto della colonna. In tal caso la quantità *x* da determinarsi sarebbe la distanza fra il piede del tubo e il piede della colonna superiore di mercurio, dopo la dilatazione dell'aria.

tubi *n*, *o*, *r*, *s*; e in tal caso cessa a un tratto lo sgorgo dell'acqua dei tubi stessi. Ma il pozzetto proseguendo a votarsi, in breve tempo ritorna libera l'apertura della incavatura *u*, e l'aria si introduce di nuovo nel vaso ABC, per la qual cosa i piccoli tubi principiano di nuovo a gettar acqua. Così la fontana zampilla e si arresta alternativamente, finchè non sia affatto votato il vaso che somministra l'acqua.

Delle trombe.

436. Considerata l'aria in generale come causa dell'elevazione dell'acqua nei corpi di tromba, dobbiamo ora osservare alcune particolarità importantissime, relative a questo soggetto, le quali conducono alla spiegazione di una delle più belle e più utili produzioni della meccanica, cioè alla spiegazione dei fenomeni delle *trombe*. Si tratta dunque di osservare il modo con cui la pressione esterna dell'aria si combina con un'altra azione, che essa esercita nell'interno di quelle, e che dipende dalla sua elasticità.

Tutte le trombe possono ridursi a tre specie; cioè tromba *premente*, tromba *aspirante*, e tromba *aspirante* e *premente* nel tempo stesso.

437. La tromba premente ha il suo stantuffo posto inferiormente a livello dell'acqua, e si costruisce in due modi: nel primo l'asta *t* (*fig.* 41.) dello stantuffo P è posta in basso, e lo stantuffo è forato con un'apertura verticale, il di cui orifizio superiore è munito d'una valvula *s*. Quando esso è in riposo, occupa il fondo del corpo di tromba, nell'interno del quale l'acqua si introduce da per se, passando a traverso dello stantuffo, di cui alza la valvula, in forza della sua natural disposizione a livellarsi. Presso il livello *m* il corpo di tromba è munito similmente d'una valvula *s'*, che fa le veci di un altro fondo mobile dal basso in alto, e che si chiama *dormiente*. Finchè lo stantuffo si alza per mezzo del moto comunicato all'asta, la valvula *s* resta chiusa, e l'acqua che vi sta sopra si eleva con essa fino alla valvula dormiente *s'*, che è forzata ad aprirsi per lasciar passare quest'acqua; la qual valvula ricade o si richiude poi per il suo peso naturale, e impedisce al liquido di uscire. Lo stantuffo nello scendere si carica di una nuova quantità d'acqua, con la quale si eleva, e la deposita nel medesimo luogo di prima, di maniera che l'acqua può così essere innalzata a qualunque altezza, purchè il motore abbia una forza sufficiente.

438. Le trombe della seconda costruzione differiscono dalla precedente, primieramente per la situazione dell'asta, la quale è situata sopra lo stantuffo, e di più per lo stantuffo medesimo, perchè esso

è pieno, e riposa sopra una valvula che è al fondo della tromba: alzandosi lo stantuffo, l'acqua lo segue per mettersi al livello; e quando esso si abbassa, respinge quest'acqua in un tubo laterale, a traverso del quale essa si apre il passo alzando una valvula, che poi si riabbassa quando lo stantuffo è arrivato al fondo della tromba.

439. La tromba aspirante rappresentata dalla *fig.* 42, ha il suo stantuffo P sopra il livello *mn* dell'acqua, a un'altezza che deve esser minore di 32 piedi, e traforato e munito di una valvula *s* nella sua parte superiore. Il corpo di tromba ha una separazione formata da un'altra valvula *s'*, a una certa distanza sotto il punto *k*, ove supponiamo che termini inferiormente l'azione dello stantuffo; nel qual punto quando lo stantuffo è in riposo, l'aria interna contenuta fra la valvula dormiente *s'* e il livello *mn* dell'acqua, con la sua elasticità fa equilibrio alla pressione dell'aria esterna. In quanto poi all'aria contenuta nello spazio *klzo* sopra la valvula dormiente, e l'elasticità della quale eguaglia quella dell'aria inferiore, essa non produce altro effetto in principio se non che di tener chiusa questa valvula. Quando poi lo stantuffo risale, l'aria contenuta nello spazio *klzo* si dilata; quella che è sotto la valvula dormiente la solleva con l'eccesso della sua elasticità, e una porzione di quest'aria si sparge nello spazio *kzlo*: ma nello stesso tempo l'acqua si alza, finchè l'elasticità dell'aria indebolita dalla dilatazione, unita al peso dell'acqua che è salita sopra il livello, faccia una somma eguale alla pressione dell'atmosfera; e poichè ciò accade quando lo stantuffo cessa di salire, la valvula dormiente che si trova fra due quantità d'aria egualmente dilatate, si riserra di nuovo in forza del suo peso. Lo stantuffo, nello scendere ristringe il volume dell'aria compreso fra la sua base e la valvula dormiente; e poichè il volume di quest'aria supera il volume primitivo di una quantità eguale a quella che è entrata nello spazio *klzo*, è chiaro che vi è un punto in cui essa diventa più densa che nel suo primo stato; e in tal caso, con la sua elasticità alza la valvula *s* situata sopra lo stantuffo, ed esce fuori in parte, finchè l'aria che resta ritorni alla densità naturale. Continuando l'acqua a salire in forza di ripetuti moti di stantuffo, arriva fino allo stantuffo stesso, il quale abbassandosi la obbliga a passare a traverso della sua apertura, per alzarla quindi con se stesso; e così successivamente, finchè giunga all'altezza voluta.

La costruzione di questa specie di tromba richiede alcune precauzioni, per prevenire un inconveniente che a prima vista sembra singolare, cioè il caso d'un arresto improvviso dell'acqua, prima d'arrivare allo stantuffo, senza che con la continua azione di esso possa farsi salire di

più. Per concepire l'idea di questa possibilità, osserviamo che il peso dell'acqua sopra il livello va sempre crescendo in proporzione del suo innalzamento, mentre va scemando l'aria che resta fra il livello dell'acqua e la base dello stantuffo, e che cresce in elasticità mentre l'acqua sale: dunque il rapporto fra le due forze che insieme si oppongono alla pressione dell'atmosfera, varia continuamente, e quindi può accadere che la somma di queste forze in un certo tempo divenga capace di opporre a questa pressione una maggior resistenza di prima. Supponiamo per esempio che l'acqua sia giunta in *hr*, e che vi sia trattenuta da una potenza qualunque, mentre lo stantuffo si alza da *kl* in *fg*, che è il limite del suo moto. Se lo spazio *hrgf* lasciato voto da questo fosse tale che l'elasticità dell'aria dopo la sua dilatazione, unita al peso dell'acqua che è sopra il livello, fosse in equilibrio con la pressione dell'atmosfera, si vede chiaramente che l'acqua non salirebbe, quand'anco non fosse trattenuta da verun ostacolo; poichè la sola dilatazione dell'aria soddisfà alla condizione che si richiede per l'equilibrio.

Se dunque la tromba sia costruita in maniera che abbia un punto in cui si avveri di fatto la nostra ipotesi, l'acqua in tal punto resterà stazionaria. A scanso di questo inconveniente, bisogna che lo spazio in cui scorre lo stantuffo, e la sua massima altezza sopra il livello, abbiano fra loro un certo rapporto, che facilmente può determinarsi col calcolo (*a*).

440. Nella tromba aspirante e premente, l'acqua si alza come nella tromba semplicemente *aspirante*; se non che nell'aspirante lo stantuffo è pieno, ossia non traforato in nessun punto; e quando l'acqua è giunta alla sua base, esso nell'abbassarsi la respinge, e l'obbliga a passare in un tubo laterale, come nella tromba semplicemente premente.

La sola differenza che passa fra questa tromba e la precedente, è che l'acqua in vece di passare a traverso dello stantuffo quando si abbassa, è spinta in un tubo particolare; quindi è che l'affetto dello stantuffo in questo caso è assai più distinto, e rappresenta meglio l'azione del premere.

(*a*) Dal calcolo resulta, che il quadrato della metà della maggiore altezza dello stantuffo sopra il livello dell'acqua, ossia della distanza fra *fg* e *mn*, deve esser minore di 32 volte lo spazio in cui si muove lo stantuffo, spazio misurato dalla distanza fra *fg* e *kl*.

Del Sifone.

441. Gli effetti del sifone di cui ci serviamo per travasare i liquidi, dipendono essi pure dalla pressione dell'aria. Si chiama sifone un tubo curvo di vetro o di metallo con bracci disuguali. Tenendolo con la sua convessità voltata in alto, si immerge il braccio più corto nel vaso che contiene il liquido, quindi applicando la bocca all'orifizio del braccio più lungo, si succia il liquido, ossia inspirando si dilata l'aria contenuta nel sifone, e così viene a introdursi in esso il liquido del vaso, premuto senza reazione dall'aria esterna; e quando il sifone è pieno si ritira la bocca, e tutto il liquido del vaso sgorga per il lungo braccio.

Facilmente si intende la ragione di questo effetto, riflettendo che l'aria che corrisponde all'orifizio del braccio più lungo, preme dal basso in alto, secondo la legge di tutti i fluidi, la colonna d'acqua contenuta in questo braccio, finchè l'aria che riposa sulla superficie del liquido del vaso, per mezzo di questo liquido spinge dalla medesima parte la colonna che occupa il braccio più corto; ed è chiaro che di questa colonna essa non ha da sostenere che la parte superiore al livello. Ora la differenza fra questa medesima parte e la colonna contenuta nel braccio più lungo è tale, che il peso di questa colonna è ben lungi dall'esser compensato dalla lunghezza della colonna d'aria che corrisponde all'orifizio del braccio stesso, e quindi dovrà cadere tutta la porzione del liquido che non è sostenuta dall'aria; e poichè a questa porzion d'acqua succede sempre una porzione eguale proveniente dal vaso, lo sgorgo non terminerà che col liquido stesso (25).

(25) Il professor Gazzeri trovò nell'anno scorso che un sifone a bracci eguali poteva essere utilissimo per molti usi. Si attaccano alle due estremità di questo sifone due scodelline di metallo, in modo che il loro fondo resti un poco distante dalle estremità medesime, e quindi si empie, in qualunque maniera, del liquido che vuol travasarsi, e si pone in modo che un braccio sia immerso nel vaso pieno, e l'altro nel vaso voto. È chiaro che il fluido del primo vaso premuto dall'aria, premerà dal canto suo il fluido contenuto nel braccio del sifone, e vi salirà successivamente, sgorgando in conseguenza dall'altro braccio nel vaso voto; e quindi è chiaro egualmente che continuerà lo sgorgo finchè il fluido non sia in equilibrio in ambedue i vasi. Se nel secondo vaso si ponga un'altro di questi sifoni, parimente pieno, con un braccio in un terzo vaso voto, accaderà lo stesso fenomeno. Così, per esempio, si potrà esporre un vaso a ricevere una continua quantità di fluido, come acqua piovana, la quale senza bisogno di veruna assistenza di persone, passerà in una serie di vasi preparati, co-

Digitized by Google

442. Moltissimi sono i fatti che si attribuivano un tempo all'orrore della natura per il voto, e che in oggi sono facilissimi a spiegarsi con la teoria della gravità e della elasticità dell'aria. Per esempio, se vogliamo alzare uno stantuffo in un piccol corpo di tromba della quale si chiuda esattamente l'apertura inferiore, proviamo una forte resistenza, quasi che esso fosse attaccato al fondo della tromba stessa, mentre l'aria sola che preme sulla base superiore del medesimo stantuffo si oppone alla sua salita: difficilmente per la stessa ragione possiamo allontanare fra loro le ale d'un soffietto di cui sia chiuso il cannello e la valvula: aspirando l'aria interna di un tubo, immerso con la sua estremità inferiore nell'acqua, per fare ascendere questo liquido, sembra che il succiamento sia una forza che operi per attrazione, mentre in sostanza non fa che rendere maggiore l'azione dell'aria esterna per fare ascender l'acqua nel tubo: così potrebbero citarsi mille altri esempii di simil genere, i quali sembrano come tanti lacci tesi all'immaginazione.

Della misura delle altezze per mezzo del barometro.

Dopo aver mostrato quanto la scoperta della pressione esercitata dall'aria sulla superficie degli altri corpi, ha contribuito a perfezionare la teoria di questo fluido, dobbiamo esporre un'applicazione di questa scoperta che ha raddoppiato i vantaggi che si ottengono dal barometro.

Dall'esperienza di Torricelli derivò questo strumento, utile per le osservazioni giornaliere relative allo stato dell'aria; e da quella di Pascal nacque l'idea di farne uso, in certe circostanze, in vece dei conosciuti mezzi geometrici per misurare le altezze.

443. Il più semplice metodo di applicare il barometro a questo uso, è fondato sopra un'osservazione che non può riguardarsi se non come una prima idea, la quale consiste nel supporre che una linea di diminuzione nella colonna del mercurio, corrisponda in generale a una differenza di 12 ½ tese in altezza verticale; lo che, secondo le nuove misure, corrisponderebbe a 108 decimetri di elevazione per ogni millimetro d'abbassamento del mercurio. Ma questo mezzo è stato escluso da lungo

municanti fra loro per mezzo di simili sifoni, senza bisogno neppure di preparar questi di nuovo dopo interrotta l'affluenza del liquido nel primo vaso, e quindi neppure dopo interrotto lo sgorgo; poichè le estremità del sifone pieno essendo immerse in due vasetti parimente pieni, non posson votarsi, e però principieranno di nuovo ad agire naturalmente come prima, ogni qual volta cominci nuovamente l'affluenza del liquido.

tempo, perchè non può non essere imperfetto, quand'anco per correzione si aggiunga a ciò che resulta, una quantità proporzionale all'abbassamento del mercurio.

PRINCIPIO FONDAMENTALE DELL' OPERAZIONE.

444. Dalla legge con cui scemano le densità dell'aria è stato dedotto un altro metodo molto più preciso, e che si estende a tutte le altezze a cui possiamo arrivare. Partendo dal principio fissato dall'osservazione, che l'aria si comprime in ragione del peso che l'aggrava, si prova che quando le altezze sono in progressione aritmetica, le densità corrispondenti sono in progressione geometrica; ed è chiaro egualmente che a queste densità sono proporzionati gli abbassamenti del mercurio nel tubo del barometro.

445. Per dimostrare il rapporto fra le altezze e le densità corrispondenti dell'aria, sia *abzs* (*fig.* 43.) una massa d'aria, presa dalla superficie *ab* della terra fino al limite *sz* dell'atmosfera: si divida questa massa in tanti strati sottilissimi ed egualmente distanti fra loro, con altrettante rette *dc*, *ef*, *gh*, ec. parallele alla linea *ab*: è chiaro che le densità di questi strati scemeranno sempre più, a misura che son lontani da *ab*, e di più saranno successivamente come i pesi delle quantità d'aria situate sopra ciascuno di essi, sicchè la densità, per esempio, dello strato *abcd*, starà alla densità del seguente *dcfe*, come il peso dell'aria contenuta in *dczs* sta a quello dell'aria contenuta in *efzs*.

Figuriamoci ora una curva *bpxs* tale che, se l'aria contenuta in ciascuno spazio *abcd*, *dcfe*, ec. fosse ridotta ad occupare soltanto lo spazio corrispondente *abnd*, *dnoe*, ec. preso nell'interno della curva, il fluido si trovasse distribuito uniformemente nello spazio totale terminato da essa. Ognuno vede che ciò può accadere, poichè le densità primitive dell'aria, e gli spazii *abnd*, *dnoe*, situati nell'interno della curva, essendo da una parte e dall'altra in progressione decrescente, è in nostro arbitrio lo scegliere una curva di tal natura, che le porzioni d'aria che passeranno dagli spazii *bnc*, *ncfo*, ec., negli spazii vicini *abnd*, *dnoe*, facciano crescere le densità dell'aria che prima occupava questi ultimi spazii, sicchè divenga nulla la lor differenza.

Ciò supposto, è chiaro che gli spazii *abnd*, *dnoe*, ec., essendo tanto minori quanto minori erano le densità primitive, il rapporto loro sarà eguale a quello di queste densità; inoltre gli spazii *dns*, *eos*, ec., situati sopra i primi, staranno fra loro successivamente come i pesi delle quantità d'aria che comprimono quella contenuta negli spazii *abnd*,

dnoe, ec. E poichè l'aria si condensa in ragione del peso di cui è caricata, ne segue che gli spazii *dns*, *eos*, ec., saranno essi pure proporzionali agli spazii *abnd*, *dnoe*, ec.: ma questi sono le differenze fra i primi, ed è dimostrato che quando varie quantità stanno fra loro come le lor differenze, queste quantità, e in conseguenza le differenze medesime, sono in progressione geometrica (*a*); dunque gli spazii *abnd*, *dnoe*, *eopg*, ec., ossia le densità dell'aria che corrispondono alle altezze *ad*, *ae*, *ag*, ec., seguono la legge d'una progressione geometrica; e poichè queste altezze sono evidentemente in progressione aritmetica per l'eguaglianza delle distanze *ad*, *de*, *eg*, ec., concluderemo che quando le altezze formano una progressione aritmetica, le densità corrispondenti dell'aria sono in progressione geometrica.

Ma le elevazioni del mercurio nel barometro son proporzionali alle densità dell'aria, corrispondenti alle diverse altezze in cui esse accadono; dunque se per una parte si esprimono queste densità coi numeri delle linee che li misurano, principiando dal livello, e se dall'altra parte si rappresentino in tese le altezze alle quali corrispondono le elevazioni del mercurio, i numeri delle tese potranno considerarsi come i logaritmi dei numeri delle linee.

Supponiamo per un momento d'avere una tavola costruita su questo sistema di logaritmi, e vediamo come si può misurare con questo mezzo l'altezza di una montagna. Si prendono i due numeri di linee indicate dal barometro nel punto più basso e nel punto più alto; nella colonna dei logaritmi si cercano i numeri di tese corrispondenti, e la differenza fra questi due numeri darà la distanza verticale fra le due stazioni, ossia l'altezza cercata.

METODO DI DELUC.

446. Facilmente si accorsero i fisici che potevano far a meno di costruire la tavola suddetta e far servire i logaritmi ordinarii alla determinazione delle altezze per mezzo del barometro. Per arrivare a questo scopo, non si trattava che di avere un fattore costante di tal valore, che il suo prodotto, coi logaritmi delle nostre tavole, dasse

(*a*) Sia $abs = a$, $dns = b$, $eos = c$, $gps = d$, ec., per ipotesi avremo $b : a - b :: c : b - c :: d : c - d$, ec.: dunque $ac - bc = b^2 - bc$, e $bd - cd = c^2 - cd$; dal che si ha $ac = b^2$, e $bd = c^2$: dunque $a : b :: b : c$, e $b : c :: c : d$, cioè le quantità a, b, c, d, ec., sono in progressione geometrica; dal che segue che le differenze $a - b$, $b - c$, $c - d$, ec., formano esse pure una progressione geometrica.

tali misure che fossero conformi all'osservazione. Le prime determinazioni di questo genere eran fondate sull'osservazione stessa, cioè dopo avere scelto fra i resultamenti delle varie operazioni trigonometriche quelli che parevano meritare più confidenza, si cercava il valore del fattore che doveva essere introdotto nel calcolo, relativo alle indicazioni del barometro, affinchè ciò che resultava da questo calcolo si accordasse con ciò che dava la trigonometria. Deluc seguendo questo metodo, giunse a poter dare una determinazione sicura e semplice, perchè non lascia nulla da fare per ridurre i numeri delle tavole ordinarie a quelli che egli riguarda come veri: secondo questa sua determinazione basta moltiplicare per 10,000 i logaritmi delle tavole ordinarie, presi con sette decimali, per rappresentare in tese i veri logaritmi dei numeri di linee che misurano le osservazioni corrispondenti del barometro: quindi dopo aver presa nelle tavole la differenza fra i due logaritmi dei numeri di queste linee, si porterà per quattro cifre a destra la virgola che è dopo la caratteristica, e si avrà così la distanza verticale fra le due stazioni, espressa in tese e in parti decimali di tesa.

447. Ma questo resultamento e tutti gli altri dello stesso genere richiedono molte correzioni, delle quali due principalmente hanno richiamata l'attenzione dei fisici. Si sa che la temperatura varia nei varii punti di una stessa colonna d'aria, sicchè in generale gli strati superiori sono più freddi degl'inferiori. Ora le densità dell'aria che corrispondono ad altezze verticali in progressione aritmetica, non si riguardano esattamente come formanti una progressione geometrica, se non in quanto che la temperatura dell'aria è supposta uniforme; quindi è che nei casi ordinarii in cui essa varia, bisogna correggere le altezze del barometro. Ma dall'altra parte la disuguaglianza di temperatura, per un effetto termometrico, influisce immediatamente sulla colonna stessa del mercurio del barometro, e vi produce un aumento o una diminuzione di lunghezza, che è estranea affatto alle indicazioni di questo strumento, lo che richiede una nuova correzione.

448. Sono stati immaginati varii mezzi per fare sparire queste anomalie. Per esempio, secondo il metodo di Deluc, prima di tutto si impedisce l'effetto dell'influenza immediata della temperatura sul barometro, e si riduce lo strumento a dare quelle indicazioni che darebbe soltanto per causa della pressione dell'atmosfera; quindi si cerca il numero di tese dato dall'elevazione proposta, principiando dalle altezze corrette del barometro, e si applica poi a questo medesimo numero la correzione relativa all'azione variabile del calore sulla colonna d'aria contenuta fra le due stazioni.

Digitized by Google

Per stabilire la prima correzione, Deluc avea cercato per mezzo dell'osservazione a qual grado di temperatura l'altezza del barometro non richiederebbe alcuna correzione, e questo grado corrispondeva al decimo sopra lo zero, sul termometro diviso in 80 parti. Deluc aveva altresì dedotto dall'esperienza la quantità di cui la temperatura allungava o raccorciava la colonna del mercurio nel barometro, per ogni grado di termometro; e questa quantità era di 0*lin.*,075, nella supposizione che il barometro fosse in principio a 27 pollici: nel caso poi d'una diversa altezza, per mezzo di una riduzione si aveva la quantità della variazione. Era facile quindi l'aggiungere all'altezza osservata ciò che le mancava, o di sottrarne il soprappiù, secondo che la temperatura differiva da quella di 10 gradi, che serviva di termine fisso.

In quanto all'altra correzione, Deluc aveva cercato egualmente a qual temperatura non vi sarebbe stato bisogno di verun cambiamento nel numero di tese, dato dai logaritmi delle altezze modificate sulla prima correzione, e trovò che questa temperatura era di 16° $\frac{3}{4}$ sopra lo zero. Suppose quindi che variasse la temperatura nell'estensione di una medesima colonna d'aria, in modo da crescere o scemare in progressione aritmetica; e dalle sue esperienze resultò che l'aria cresceva o scemava $\frac{1}{215}$ del suo volume per ogni grado del termometro. Questi dati, combinati con le osservazioni della temperatura nelle due stazioni, bastavano a far rilevare l'errore in più o in meno, nel numero di tese ottenuto per mezzo dei logaritmi.

METODO DI LAPLACE.

Molti fisici, e principalmente il dotto Trembley, avendo riconosciuto che il metodo di Deluc era comodo generalmente per piccole altezze, hanno procurato di rettificarlo, modificando i dati che quel famoso fisico aveva adottati per la correzione relativa all'effetto della temperatura sulla colonna del barometro. Ma tutte queste formule adattate ai resultamenti di qualche osservazione particolare, non avevano che un'esattezza in certo modo condizionale, e non si avvicinavano alla verità se non in certe circostanze analoghe a quelle che si eran combinate in quelle osservazioni.

449. Il famoso Laplace ha proposto un metodo che è indicato dalla stessa teoria. Il coefficiente costante per cui si deve moltiplicare il numero dato dai logaritmi delle tavole (§. 446), dipende in questo metodo dal rapporto del peso di un volume determinato di mercurio, con quello di un egual volume di aria alla temperatura del ghiaccio

che si fonde, e all'altezza media del barometro al livello del mare, cioè di 76 centimetri o 28 pollici. Gli altri dati del problema presi dalle leggi a cui son soggetti e l'aria atmosferica e il calorico sparso in essa, si combinano col coefficiente in modo da dirigere la soluzione verso il caso particolare, presentato dalla situazione in cui si trova l'osservatore.

Determinazione del Coefficiente costante.

Quando comparve questo metodo, non erano state fatte ancora esperienze assai precise sulle densità del mercurio e dell'aria paragonati fra loro; e il coefficiente dedotto da qualcuna di esse dava misure molto lontane dal vero.

450. Mentre si aspettavano nuove esperienze e dirette e concludenti, Laplace invitò Ramond, dotto naturalista e sperimentatore esattissimo, a fare alcune osservazioni barometriche, per ottenere un coefficiente il quale si potesse credere che non differisse, se non per la sua origine, da quello che sarebbe derivato dal rapporto fra le gravità specifiche del mercurio e dell'aria; e Ramond trovò che sul 45*mo* parallelo della divisione nonagesimale, questo coefficiente era eguale a 18336 metri.

451. Intanto, quantunque tutto concorresse a far riguardare questo coefficiente come bastevole per la pratica, la teoria non era soddisfatta; ed era da desiderarsi che la fisica, con un'operazione immediata, lo riproducesse con un carattere adattato agli altri dati compresi nella formula. Un lavoro importante ultimamente intrapreso da Biot e Arago sul potere refrattivo dei diversi corpi, ha condotto questi due valenti fisici a studiare un'altra proprietà che influisce sulla refrazione, cioè la densità; e in conseguenza delle loro ricerche hanno potuto determinare in un modo assoluto le gravità specifiche dell'aria e del mercurio. Questa determinazione dà $\frac{1}{10475,68}$ per il rapporto fra la densità dell'aria e quella del mercurio, alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e sotto una pressione atmosferica di 76 centimetri. Ma il coefficiente che si deduce da questo rapporto è eguale a 18332 metri, che differisce dal primo di sole quattro unità; ed è egualmente singolare che soddisfacente questo accordo fra due resultamenti, dei quali l'uno richiedeva una critica sicura, per poter rilevare, in mezzo alle modificazioni variabili dell'atmosfera, le circostanze adattate a farlo distinguere in tutta la sua purità, e l'altro richiedeva una maniera d'operare egualmente retta e precisa, per spogliarlo di tutte le cause di anomalie che si mescolano sempre in questo genere di esperienze.

Correzioni relative alla temperatura.

452. L'ipotesi di una temperatura uniforme eguale a zero richiede essa pure due correzioni, per potersi riportare alle indicazioni date dal termometro in questa operazione. La prima è relativa al coefficiente costante; e per ben comprendere in che consista, supponiamo che la temperatura alla stazione più bassa sia per esempio di 16° sopra lo zero del termometro centigrado, e alla stazione più alta sia di 4° sopra lo zero. Poichè si suppone che il calore scemi in progressione aritmetica, a misura che si abbassa la temperatura, passando da uno strato ad un altro, l'effetto prodotto sull' aria compresa fra le due stazioni sarà tale, che le differenze fra le densità dei varii strati di quest'aria, presi dal basso in alto, e quelle che dipenderanno dalla sola pressione, seguiranno egualmente la legge d'una progressione aritmetica.

L' operazione dunque potrà considerarsi come eseguita ad una temperatura uniforme di 10°, che essendo la semi-somma delle temperature estreme dà il termine medio della progressione; quindi è che ne resulterà lo stesso effetto, come se la temperatura fosse passata a un tratto da 0° a 10° in tutta la massa d'aria contenuta fra le due stazioni. Ma in questa ipotesi, la dilatazione sofferta dall'aria avrebbe fatto salire i diversi strati di questo fluido sopra il loro livello, e però la porzione della colonna atmosferica compresa fra le due stazioni, sarebbe divenuta meno densa: dunque è chiaro, che l'azione appunto di questa porzione di colonna, è la causa vera che determina la differenza fra la pressione esercitata dall' aria sul mercurio, alla più alta stazione, e quella esercitata alla stazione più bassa; sicchè quando si trova scemata questa azione, come in questo caso, per aver l'aria perduto una porzione di sua densità, l'abbassamento del mercurio nel barometro, mentre si trasporta lo strumento alla stazione più alta, è minore di quello che sarebbe se l' aria fosse più densa: dunque lo stromento in tal caso indica un'elevazione minore del vero, e dal calcolo fatto senza nessuna correzione resulterebbe una quantità troppo piccola; dunque per compensare l'errore, bisognerà aggiungere al coefficiente costante una certa quantità che resterà da determinarsi.

È stato osservato che l' aria quando è vicina alla temperatura del ghiaccio che si fonde, si dilata $\frac{1}{273}$, in circa del suo volume per ogni grado del termometro centigrado: dunque la quantità da aggiungersi al coefficiente costante, sarà eguale al prodotto di questo coefficiente per $\frac{1}{273}$, e per il numero di gradi che dà la temperatura me-

dia: ma questa è la semi-somma delle temperature osservate nelle due stazioni, dunque tutta l'operazione si riduce a moltiplicare la somma intera per 36*met.*, 672, che è il prodotto del coefficiente 18336*met.* per $\frac{1}{5440}$ ossia per $\frac{1}{160}$ (*a*).

453. La seconda correzione dipende dall'effetto termometrico del calore, relativamente al mercurio del barometro; e a questo proposito osserveremo che la temperatura di questo metallo liquido differisce ordinariamente da quella dell'aria circostante. Quindi è che per determinare con la maggior precisione possibile questa temperatura, si adatta un termometro all'apparecchio del barometro in modo, che l'uno e l'altro strumento sieno egualmente esposti all'azione del caldo e del freddo; e questo termometro così situato, è detto da Ramond *Termometro del barometro*, mentre chiama *Termometro libero* quello che serve soltanto a indicare la temperatura dell'aria.

Poichè, come è noto, il mercurio si dilata di $\frac{1}{5412}$ del suo volume per ogni grado del termometro centigrado, ne segue, che partendo dalla temperatura della stazione più fredda, l'effetto termometrico sarà misurato dalla 5412*ma* parte della lunghezza che aveva la colonna del mercurio alla medesima stazione, presa tante volte quanti sono gradi nella differenza fra le due temperature indicate dal termometro del barometro. Aggiungendo il prodotto al numero di centimetri che dava il barometro nella stazione più fredda, l'operazione diverrà come se la colonna di mercurio avesse conservato costantemente la sua densità, partendo dalla stazione più calda.

Applicazione a un caso particolare.

454. Fra poco parleremo d'un'altra variazione dipendente dalla gravità, e che non devesi trascurare quando si desidera una gran precisione: ma intanto, poichè il metodo che abbiamo spiegato basta per gli usi ordinarii, prima di tutto ne faremo un'applicazione a una misura particolare eseguita da Ramond sul pico del mezzo giorno di Bigora.

Il barometro in vetta del pico indicava 53*centim.*,7203; il termo-

(*a*) Poichè l'effetto totale che determina la correzione è la somma dei termini della progressione, relativamente alle quantità di cui le densità dell'aria sono alterate dal calore, si avrà questa somma prendendo il termine medio, che è il prodotto della temperatura media per il rapporto $\frac{1}{160}$ di dilatazione per un grado, e moltiplicandolo per il coefficiente costante che rappresenta il numero dei termini.

metro del barometro era a 9°,75, e il termometro libero a 4°. Nel tempo stesso un altro barometro a Tarbes, dove Jango faceva le osservazioni corrispondenti, segnava 73*centim.*,5581; il termometro del barometro era a 18°,625, e il termometro libero a 19°,125.

Per aver la quantità da aggiungersi al coefficiente costante, si moltiplicherà la somma 23,125 delle due temperature 4 e 19.125 per 36*met.*,672, e il prodotto 848,04 aggiunto al coefficiente costante darà per vero coefficiente in questo caso 19184,04.

Per correggere quindi l'altezza del barometro alla stazione più fredda, o quella del pico del mezzo giorno, in conseguenza della variazione di temperatura, si prenderà la differenza 8,875 fra le due temperature indicate dai termometri attaccati ai barometri, si moltiplicherà per l'altezza 53*centim.*,7203 del barometro nella stazione più fredda, e si dividerà il prodotto per 5412, e così si avrà 0*centim.*,0881 da aggiungersi a 53*centim.*,7203; e quindi l'altezza corretta sarà 53*centim.*,8084 (*a*).

Finalmente la differenza fra il logaritmo 1,8666305 di 73,5581, e il logaritmo 1,7308500 di 53,8084 è 0,1357805, la quale moltiplicata per il coefficiente corretto 19184 dà per la distanza verticale fra le due stazioni 2604*met.*,819 (*b*).

Correzioni relative alla gravità.

455. È noto che l'azione della gravità sui corpi situati sulla superficie della terra scema in ragione della vicinanza all'equatore, ossia è tanto minore quanto è minore la latitudine; e inoltre, alla stessa latitudine è tanto minore, quanto è maggiore l'altezza da cui agisce.

456. Per correggere la variazione prodotta dalla latitudine, si parte dal parallelo medio, al quale si suppone corrispondere il coefficiente co-

(*a*) Diamo qui questi calcoli in numeri ordinarii, ma si sa quanto si abbreviano le operazioni di questo genere con l'uso delle tavole dei logaritmi.

(*b*) Sia h l'altezza del barometro alla stazione più bassa, e h' alla più alta, corretta però in quanto alla temperatura, perchè si suppone più fredda la stazione più alta, T l'altezza del termometro libero alla stazione più calda, t l'altezza alla stazione più fredda, T' e t' le altezze corrispondenti dei termometri del barometro, e r la differenza di elevazione fra le due stazioni: tutte queste quantità essendo espresse in metri e in rotti di metro, la regola di cui abbiamo fatta un' applicazione sarà rappresentata da questa formula, $r =$

$$18336^{metri}\left(1+\frac{2(T+t)}{1000}\right)\log.\left(\frac{h}{h'\left(1-\frac{T'-t'}{5412}\right)}\right).$$

stante 18336$^{met.}$, come abbiamo già detto; e secondo che l'operazione si fa al di qua o al di là di questo grado medio, si aggiunge all'altezza così trovata, o se ne toglie il prodotto di questa altezza per i 2845 milionesimi del coseno del doppio della latitudine, esprimendo il raggio con l'unità. Così il pico del mezzo giorno essendo situato a 43°, il coseno da calcolarsi sarà quello di 86°; e se di questo si prendano 2845 milionesimi, e si moltiplichi il prodotto per l'altezza trovata 2604$^{met.}$ 819, si troverà 0$^{met.}$,517 da aggiungersi a questa altezza, lo che dà 2605$^{met.}$,336.

457. Finalmente per aver riguardo ancora alla diminuzione della gravità nella direzion verticale, si aggiungerà all'altezza già corretta, relativamente all'effetto della latitudine, il suo prodotto per il coefficiente corretto, e per la differenza dei logaritmi che corrispondono alle due altezze del barometro, accrescinta del numero 0, 868589, e divisa per il numero 6366198, che rappresenta in metri il raggio del globo terrestre. Nell'esempio che abbiamo scelto, la differenza dei logaritmi è 0, 1357805, il qual numero aggiunto a 0, 868589 dà 1,0043695; il coefficiente corretto è 19184,04, e l'altezza corretta relativamente all'effetto della latitudine è 2605$^{met.}$,336; dunque il valore della quantità cercata sarà $\frac{1,0043695 \times 19184,04}{6366198} \times 2605^{met.},336$, ossia 7$^{met.}$,885, che aggiunti a 2605, 336, danno 2613$^{met.}$,221, altezza vera del pico del mezzo giorno (*a*). La medesima altezza determinata da Ramond, per mezzo di una livellazione fatta con la massima accuratezza, è 2613$^{met.}$, 137; e così la misura barometrica non differisce neppure di un decimetro in meno da quella data dall'operazione geodesica. Trascurando le correzioni relative alla gravità, noi l'abbiamo trovata 2604$^{met.}$,819, ossia 8 metri in circa minore della vera.

(*a*) Laplace nel quarto volume della sua Meccanica celeste, p. 293, ha data la formula seguente, che rappresenta tutte le operazioni di questo genere. Sia r la differenza d'elevazione fra le due stazioni, Ψ la latitudine del luogo, t e t le temperature indicate dai due termometri liberi, h l'altezza del barometro alla stazione più calda, h' la sua altezza alla stazione più fredda, corretta dell'effetto della temperatura, e a il raggio del globo terrestre, si avrà $r =$

$$18336\text{metri}(1+0,002845.\cos 2\Psi)\left(1+\frac{2(t+t')}{1000}\right)\left(\left(1+\frac{r}{a}\right)\log.\frac{h}{h'}+\frac{r}{a}\,0,868589\right).$$

Laplace ci avverte, che per applicar questa formula basta sostituire ad r nel secondo membro dell'equazione il suo valore dato dalla supposizione di $r = 0$, nel secondo membro.

458. Si osservi però, che per operare con speranza d'esito felice in quanto alla precisione, bisogna operare in un'aria libera da ogni agitazione, perchè le correnti di questo fluido dal basso all'alto o dall'alto al basso, fanno scemare o crescere la pressione che l'atmosfera esercita sul mercurio del barometro; quindi è che la colonna di questo liquido talora si abbassa o si alza eccessivamente, col che indica un'altezza maggiore o minore della vera; e però Ramond presceglie l'ora del mezzogiorno, come la più favorevole alle osservazioni barometriche, perchè verso quest'ora si trova quasi stabilito l'equilibrio dell'atmosfera, sempre alterata alquanto dai venti della mattina (*a*).

Utilità delle Osservazioni Barometriche per la Geografia-Fisica.

459. Il dotto autore del metodo che abbiamo esposto, ha concepito l'idea di combinare le osservazioni del barometro con le misure geografiche, per determinare in un modo più stabile la situazione dei diversi luoghi. Questa situazione, quale ce l'indicano le misure di cui abbiamo parlato, dipende dall'intersezione di due coordinate perpendicolari fra loro, l'una delle quali è la distanza dal primo meridiano, ossia la longitudine, l'altra è la distanza dall'equatore, ossia la latitudine; e basterebbe supporre una terza coordinata perpendicolare alle due precedenti, la quale misurerebbe la distanza verticale fra il medesimo punto d'intersezione e il livello del mare. Per la Francia potrebbe prendersi questo livello a Brest, ove l'altezza media del barometro è quasi 76 centimetri; e in ciascun luogo scegliendo una media fra molte osservazioni barometriche fatte per un anno o due, questa indicherebbe quanto è elevato sopra il livello del mare il luogo proposto. In ciascun paese parimente potrebbe scegliersi per livello, a cui riferire tutte le osservazioni, l'altezza media dal fiume più vicino. Un' opera di questa natura, eseguita da pratici osservatori, e con barometri ben costruiti, darebbe importantissimi lumi per la topografia dei diversi paesi.

2. DELLE VARIE MODIFICAZIONI A CUI È SOTTOPOSTA L'ATMOSFERA.

L'atmosfera ancor quando apparisce trasparentissima, e ci mostra la sua concavità sotto l'aspetto d'una volta di colore azzurro, è un vasto serbatoio d'acque rarefatte, tenute come imprigionate nei

(*a*) Vedasi una Memoria importantissima di questo dotto naturalista su questo argomento, inserita nel sesto volume delle Mem. dell'Istituto, p. 435 e seg., nella quale si trovano ancora alcuni metodi per accelerare e render più semplici i calcoli, senza allontanarsi molto dall'esattezza.

pori dell'aria dalla forza del calorico. Le molecole di queste acque che per la tenuità loro ci sono invisibili, più presto o più tardi si riuniscono in modo da esser visibili, tanto se si mantengono assai leggiere da restar sospese nell'aria, quanto se ridotte a maggior densità cadono per forza di gravità verso la terra. A questi cambiamenti dell'aria, prodotti dalla separazione dell'acqua che era contenuta ne' suoi interstizii, si uniscon quelli che son prodotti dalla rottura del suo equilibrio: quindi derivano quelle tante modificazioni, che nel corso delle stagioni riportano ogni anno nell'atmosfera una scena egualmente variata per la successione dei fenomeni, che appariscono in uno stesso luogo, e per il contrasto di quelli che nel tempo stesso appariscono in luoghi diversi; e tali fenomeni dobbiamo ora appunto considerare. Ma poichè non conosciamo ancora abbastanza le vere teorie dei medesimi, spesso ci limiteremo a descriverli, senza pretendere di darne una spiegazione prematura.

Dei Venti.

460. I venti hanno origine dai cambiamenti che accadono nella gravità specifica e nell'elasticità dell'aria, che fanno cambiar posto a una porzione di essa, e le comunicano un moto progressivo, per cui a ragione i venti sono stati nominati *correnti d'aria.*

461. L'intensità della forza del vento varia moltissimo, cominciando dalla più leggiera agitazione prodotta da uno zeffiro, fino all'impetuoso moto da cui derivano gli oragani. Kraaf che a Pietreburgo ha fatte molte osservazioni sulla celerità del vento, dice di averla trovata una volta di 109 piedi ossia 35*met.*, 4, e un'altra volta di 129 piedi ossia 39*met.* per ogni minuto secondo (*a*).

DIVERSITA' DEI VENTI.

462. I venti spirano in moltissime direzioni diverse, alcune oblique, altre parallele all'orizzonte. Ordinariamente però, per determinare queste direzioni, si considera il punto dell'orizzonte, da cui si crede partire un vento per venire verso l'osservatore, il quale si riguarda come situato sopra il centro di questo circolo, e la circonferenza di esso si suppone divisa in 32 parti eguali da 16 diametri; e quindi, andando dalla circonferenza al centro, si considerano 32 direzioni che

(*a*) *Encicloped. méthod. Marine*, t. III, 2ª. Parte, p. 813.

si chiamano *arie* o *rombi* dei venti; e l'unione di tutti si chiama *rosa* dei *venti* (*fig.* 44.).

Uno dei diametri, che coincide col meridiano del luogo ove è l'osservatore, con una delle sue estremità indica il Nord, e con l'opposta il Sud; e il diametro che taglia ad angolo retto il precedente, indica l'Est da una parte e l'Ovest dall'altra; e questi quattro punti si chiamano *punti cardinali*.

I punti intermedii fra i punti cardinali prendono il nome da questi, combinati a due a due, a tre a tre, senza aggiunger altro, o a tre a tre con l'interposizione di $\frac{1}{4}$, secondo che i punti corrispondenti suddividono in parti sempre minori lo spazio compreso fra due punti cardinali contigui. Questa denominazione è fondata sui principii seguenti: 1°. nelle combinazioni binarie come Nord-Est, Sud-Est, ec. il nome di *Nord* o di *Sud* occupa sempre il primo posto: 2°. ciascuna combinazione ternaria senza aggiunger altro, come Nord-Nord-Est, Est-Nord-Est, ec. è formata dal nome del punto cardinale più vicino, seguito dalla più vicina combinazione binaria. 3°. Riguardo alle combinazioni ternarie con l'aumento della frazione $\frac{1}{4}$, bisogna fare una distinzione: se il punto al quale corrisponde la combinazione è vicino a un punto cardinale, la combinazione si forma col nome di questo punto, e quindi della frazione $\frac{1}{4}$, alla quale si aggiunge la combinazione binaria più vicina: così Nord-un quarto di Nord-Est significa che il punto indicato da questa combinazione è vicino al Nord, e che la sua distanza da questo medesimo punto è il quarto di quella che lo separa dal Nord-Est. Se al contrario il punto a cui appartiene la combinazione, è vicino a un altro punto che corrisponde a una combinazione binaria, come Nord-Est-un quarto di Nord, la combinazione si forma dal nome di questa combinazione binaria, e della frazione $\frac{1}{4}$ col nome del punto cardinale più vicino; dal che si vede che questa maniera di combinazione è l'inversa della precedente. Fra le direzioni infinitamente variabili dei diversi venti, si sono scelte queste trentadue, come una specie di limiti nei quali si comprendono tutti gli altri.

463. I venti considerati relativamente alla loro durata, al loro ritorno, o ad altre simili circostanze, si dividono in venti generali, venti periodici, e venti irregolari.

I venti generali, o quelli che spirano continuamente e in una direzione costante, regnano fra i due tropici, e di rado spirano altrove.

I venti periodici chiamati *alisei* o *monsoni*, spirano costantemente per molti mesi, e ordinariamente son seguiti da venti contrarii d'egual durata.

I venti irregolari son quelli che in un medesimo paese spirano da diverse parti, senza epoca o durata fissa, e questi sono i più ordinarii nei climi temperati. Spesso molti di questi venti spirano contemporaneamente uno sopra l'altro in direzioni diverse (*a*), e talora si sente un vento violentissimo sopra una montagna, al basso della quale l'aria è tranquilla, oppure si vede il caso contrario (*b*).

SPIEGAZIONE DEL VENTO D'EST.

464. Fra i venti generali di cui abbiamo parlato, ve n'è uno che spira continuamente nella zona torrida, e che è conosciuto sotto il nome di *Vento d'Est*. Alcuni autori avevano creduto trovarne la causa nell'attrazione che il sole e la luna esercitano sull' atmosfera; ma è ormai provato che questa attrazione non può produrre nell'aria se non che semplici oscillazioni analoghe a quelle del flusso e riflusso, e di più leggerissime, e non un moto sensibile e uniforme nella sua direzione.

465. La più comune opinione è che il vento d'Est derivi dalla dilatazione dell'aria rarefatta dall'azione del sole. Ma per far meglio comprendere l'influenza di questa azione su tal fenomeno, cominceremo dall'esaminare in generale l'effetto che resulta dall'agitazione prodotta dal calorico in una massa d'aria che si riscalda continuamente, senza esser trattenuta o ristretta. È chiaro che in tal caso la gravità specifica di quest'aria deve scemare in conseguenza della dilatazione; sicchè se è circondata da un'aria più fredda, si eleverà, e ad essa sottentrerà una porzione dell'aria circostante; e poichè nella nostra supposizione il calore prosegue ad esercitar la sua azione sul medesimo spazio, verrà a stabilirsi una specie di circolazione, per cui un'aria più densa prenderà continuamente il posto d'un'aria più rarefatta.

466. L'azione del calore sull'aria delle stanze con cammino ci somministra un esempio familiare di questo fenomeno. Le molecole di quest'aria sparse intorno al focolare, diventando specificamente più leggiere per causa della rarefazione, una parte di esse si alzerà nel tubo del cammino, e l'altra salirà fino alla volta della stanza: nel tempo stesso una nuova quantità d'aria proveniente dal basso sottentra all'aria che sale, e quindi nasce una successione non interrotta di due correnti contrarie, una superiore che si allontana dal cammino, l'altra inferiore che si eleva verso di esso. Le celerità di queste due correnti scemano a misura che gli strati d'aria si avvicinano a una certa altezza media,

(*a*) *Musschenbroeck*, *Essai de Physiq. Leyde*, 1751, t. II, p. 879.
(*b*) *Deluc*, *Recerches sur les modific.ns de l'Atmosphère*, n°. 730.

in cui questo fluido è stazionario. Possono osservarsi gli effetti di questa doppia corrente aprendo la porta della stanza, e collocando un lume ora sopra ora sotto l'apertura, e si vedrà la fiamma inclinarsi primieramente in dentro, poi in fuori, e a un'altezza media resterà immobile.

467. La continua successione di queste due arie, finchè è mantenuto il calore, ha suggerito il principio su cui è fondata la spiegazione più naturale che possa darsi del vento d'Est. Il sole, che supponiamo nel piano dell'equatore, riscalda e rarefà molto sensibilmente la porzione dell'atmosfera su cui esso domina; quest'aria rarefatta si alza sopra il livello, e poichè tutti i fluidi tendono a livellarsi, essa si sparge sopra le colonne situate verso i poli, mentre un'aria più fresca, che parte da queste colonne stesse, scende verso l'equatore, per riempire il voto prodotto dalla dilatazione. Così in ciascun emisfero boreale o australe si formeranno due correnti, una superiore, che va dall'equatore verso il polo, l'altra inferiore che viene dal polo verso l'equatore. Le molecole di queste correnti sono continuamente mosse da due forze, l'una delle quali opera sempre secondo la direzione della corrente, l'altra deriva dal moto di rotazione dell'atmosfera; ed è chiaro che la celerità prodotta da questo secondo moto, era in origine tanto minore in ciascuna molecola, quanto il parallelo di cui essa fa parte era più lontano dall'equatore.

Se dunque consideriamo una molecola presa nella corrente inferiore, diretta verso l'equatore, si vedrà chiaramente che questa molecola arriva a ciascuno dei paralleli situati sul suo cammino, con una celerità angolare (*a*), minore di quella del punto corrispondente preso sulla superficie della terra. Gli oggetti terrestri che incontra la corrente inferiore devono urtarla con l'eccesso della loro celerità; e lo stesso accaderà dello spettatore, che credendosi immobile, e riferendo alla corrente da lui incontrata l'eccesso della sua propria celerità, in direzione opposta, riceverà l'impressione di un vento che gli parrà venire dall'Est, poichè il moto di rotazione è diretto dall'Ovest verso l'Est.

Accaderà tutto l'opposto, relativamente alla corrente superiore che va verso i poli, poichè ciascuna delle sue molecole essendo più veloce del punto corrispondente della terra sopra il quale arriva, precederà questo medesimo punto, andando verso l'Est; e da questa maggior

(*a*) Si chiama così la celerità d'un corpo che si muove circolarmente intorno a un punto. Quando la rotazione è uniforme, la celerità è proporzionata all'angolo misurato dall'arco descritto da questo corpo in un tempo dato.

celerità dovrà resultarne un vento d'Ovest reale, mentre il vento inferiore è una semplice apparenza, ma che produce però un'illusione assoluta.

Utilità dei Venti.

468. I danni che produce talora la violenza dei venti, sono ampiamente compensati dai vantaggi prodotti da essi. Per essi infatti vien purgata l'aria delle città, alterata da nocive emanazioni; da essi vengon trasportate le nubi, destinate a sparger sulla terra una pioggia fecondatrice; essi sono come i conduttori d'un'infinità di semi che si aggirano per ogni parte nell'aria in tempo d'Autunno, e mantengono fra i diversi paesi una circolazione di ricchezze provenienti dalla vegetazione.

469. L'industria umana ha trovato nei venti un potente motore, che spingendo le vele delle navi, dirige questi galleggianti edifizii verso luoghi che abbondano di produzioni o importanti per il commercio, o utili per i progressi della storia naturale. Prima dell'invenzione dei nostri molini, quante braccia e quanti sforzi erano necessarii per prepararci il nostro più solido alimento! Fu supplito a tutto questo con l'azione del vento, esponendo ad essa quattro ale o vele, le quali, quasi leve, inclinate a due a due in direzione contraria, ricevono un moto che fa girare un asse al quale son esse fissate (*a*).

(*a*) Sia A B (*fig.* 45.) la proiezione della superficie anteriore del molino, *mn* quella d'un'ala, che supponiamo giunta al più alto grado di sua rotazione, *m'n'* quella dell'ala opposta alla precedente, e che nel medesimo caso si trova nel punto più basso di sua rotazione; sia inoltre *f g* la direzione del vento, a cui è perpendicolare la superficie AB, di cui può sempre farsi cambiare a piacere la situazione. La forza del vento che urta obliquamente l'ala *m n* nella direzione *o r*, si decompone in due altre forze, una rappresentata da *os*, e parallela a *mn*, che non produce verun effetto, e l'altra, rappresentata da *o t*, e perpendicolare a *m n*, spinge l'ala da sinistra a destra, ossia da A verso B. Con un raziocinio eguale relativamente all'ala inferiore *m' n'* si concluderà che la forza *o't'*, che opera come *o t*, fa girar l'ala *m'n'* da destra a sinistra, ossia da B verso A. Ora quest'azione concorre con quella che sull'ala superiore produce un moto eguale di rotazione, mentre se l'ala inferiore fosse disposta sul medesimo piano della superiore, i due moti si distruggerebbero; e si osservi che tutto ciò che diciamo relativamente alla situazione o più alta o più bassa delle ale, si applica egualmente a qualunque altra situazione.

È facile l'osservare, che le ale resterebbero sempre immobili, se *mn*, e *m'n'* essendo parallele ad A B, ricevessero direttamente l'impulso dal vento, e se essendo perpendicolari ad AB avessero la stessa direzione del vento. Dunque fra questi due limiti v'è una situazione obliqua, in cui la forza del vento è massima; e il calcolo dimostra che questa forza è massima, quando l'angolo *ora* che fa la direzion del vento con la superficie dall'ala è di 54° 44' 8''.

Delle Meteore acquee.

470. Si chiamano meteore tutti quei corpi che o sospesi o mobili nell'atmosfera producono qualche fenomeno. Fra questi non parliamo ora che di quelli i quali riconoscono la loro origine dall'acqua, e che formano il soggetto di quel ramo di cognizioni che si chiama *Meteorogia*, che è stata estesa ancora all'osservazione dei venti, i quali hanno moltissima analogia con le meteore.

DELL' ATMOSFERA CONSIDERATA RELATIVAMENTE ALL' EVAPORAZIONE.

Abbiamo indicato altrove (§. 207) con qual ipotesi più facilmente si spieghi il meccanismo, con cui l'acqua separandosi da se stessa in tutti i punti della sua superficie, si trasforma in un vapore che si sparge poi nell'aria circonvicina, la quale, in questo stato, la ritiene con la sua azione repulsiva. Passiamo ora ad osservare alcune circostanze particolari relative all'evaporazione, per cui riuscirà più facile la spiegazione che daremo di alcune meteore acquee.

471. L'evaporazione è tanto più abbondante, in circostanze eguali, quanto più estesa è la superficie con cui l'acqua è a contatto con l'aria. In alcuni paesi gli uomini traggon partito da questa osservazione, per estrarre il sale dall'acqua marina che lo tiene in dissoluzione, facendo primieramente cadere quest'acqua sopra un fascio di spine, di dove essa cade in pioggia minuta, la quale presentando molti punti all'aria per cui trapassa, evapora in gran parte, e quindi l'acqua che giunge in fondo si trova moltissimo carica di sale; e si compie poi l'operazione esponendola in grandi caldaie all'azione del fuoco.

472. Poichè le molecole componenti la superficie dell'acqua sono le sole che sieno soggette all'evaporazione, la quantità di questa in vasi pieni ma di diseguale orifizio, sarà tanto maggiore quanto più ampio sarà l'orifizio stesso, purchè i vasi sieno esposti all'aria in circostanze perfettamente eguali. Musschenbroeck trovò che, essendo eguali le superficie, l'acqua evaporava più prontamente in un vaso più profondo (*a*) che in uno meno profondo; ma ciò forse accadeva perchè fra le variazioni di temperatura dell'aria circostante, erano più frequenti quelle che tendevano a farla abbassare. In tal caso, l'acqua contenuta nel vaso più profondo, essendo composta d'un maggior numero di strati dal fondo alla superficie, è più lenta nel seguire le variazioni della temperatura, e quindi perde meno prontamente il calore acquistato,

(*a*) Aggiunte alle Memorie dell'Accadem. del Cimento, t. II. p. 62.

e che con la sua presenza accelera l'evaporazione (*a*). Dunque la differenza suddetta non è sensibile che all'aria aperta; ed è stato osservato in fatti che essa non esisteva in una stanza in cui la temperatura non provava che leggerissime variazioni.

473. È stato osservato ancora da lungo tempo che i venti, e specialmente i venti asciutti, accelerano l'evaporazione. Secondo la teoria di Leroi, questo effetto sarebbe prodotto in gran parte dall'aria, la quale rinnovando continuamente i suoi punti di contatto con l'acqua, eserciterebbe su questo liquido una forza sempre rinascente di affinità; ma nell'ipotesi molto più ammissibile che l'evaporazione sia l'effetto dell'elasticità del calorico, meglio si concepisce che un liquido deve evaporare più rapidamente per mezzo d'un'aria agitata, tanto perchè questo fluido apre continnamente al vapore un adito libero in nuovi interstizii, quanto perchè l'evaporazione è inoltre accelerata dall'agitazione che il moto dell'aria eccita nelle molecole stesse del liquido.

Si può produrre un effetto analogo in una stanza per mezzo di una di quelle esperienze che appartengono alla Fisica più comune. Basta bagnare un dito di ciascuna mano, e passeggiar quindi nella stanza tenendo in gran moto uno dei diti bagnati, e totalmente fermo l'altro, e presto si vedrà asciutto il primo, e sempre umido il secondo.

474. L'acqua è capace di evaporare quand'anco è passata allo stato solido, come si osserva chiaramente nella neve; e in un tempo freddo e asciutto, i ghiaccioli che s'eran formati nella rotaia delle strade, si veggono scemare a poco a poco, e in fine scomparire totalmente. Il ghiaccio però evapora molto più lentamente, a misura che è più freddo; e probabilmente v'è un termine in cui le molecole situate sulla superficie dell'acqua gelata, cesserebbero d'obbedire alla tendenza che ha il calorico per ridurle allo stato di vapore. In quanto all'osservazione di Musschenbroeck e di Wallerio, cioè che l'evaporazione dell'acqua cresce mentre il liquido si congela, si può asserire che questo non è che un effetto momentaneo, dipendente dall'aumento di calore, e prodotto da quello che si sprigiona nell'atto stesso della congelazione.

Effetto della presenza dell'aria sulla quantità di vapore sparso in uno spazio determinato.

475. Abbiamo veduto che la pressione dell'aria oppone all'evaporazione un ostacolo che ne ritarda i progressi (§. 207). Da ciò alcuni Fisici avevan concluso, che questo ostacolo influiva sulla quantità stessa

(*a*) *Nova Commentar.* Petrop. t. II. p. 134.

di vapore che si sviluppava nell'atmosfera, sicchè se questa non fosse esistita, a eguaglianza di temperatura e al termine di saturazione, vi sarebbe maggior quantità di vapore sparso in uno spazio preso dalla superficie della terra fino ad un'altezza data: ma è facile il provare che, in questa ipotesi il vapore che occuperebbe questo spazio, sarebbe anzi in minor quantità di quello che sarebbe stato nel seno dell'atmosfera.

Per ben comprendere la causa di questa differenza, ammettiamo per un momento la stessa ipotesi, e supponiamo che non esista atmosfera; supponiamo inoltre che le acque che bagnano la terra, essendo a 15° di R., abbiano somministrato tutta la quantità di vapore che può svilupparsi a questa temperatura Se in qualche punto sopra la superficie dell'acqua, fosse un vaso in cui si introducesse quella porzione di vapore che si formerebbe in questo punto, in modo da non poterne escire, la forza elastica di questo vapore sarebbe capace di sopportare una pressione di 13*millim.*, 5, ossia 6 linee di mercurio (§ 289). Ne segue dunque, che tale sarà pure la forza dello strato di vapore situato sulla superficie dell'acqua in uno spazio libero; ed è chiaro che questa forza farebbe equilibrio alla pressione di tutti gli strati superiori. Ma accaderebbe qui del vapore come accade dell'aria, cioè che i suoi strati essendo meno compressi, secondo che si trovassero a una maggiore elevazione, le densità loro a diverse altezze in progressione aritmetica seguirebbero la legge d'una progressione geometrica decrescente (§ 444), partendo dal termine che corrisponde a 13*mil.*, 5.

Lasciando ora l'ipotesi; riprendiamo la verità, e vediamo cosa accada quando il vapore si introduce nell'aria atmosferica, a misura che il calorico lo trasporta con se Sappiamo già che in questo caso la quantità di vapore cui può ammettere uno spazio voto, in caso di eguaglianza di temperatura, è costantemente la stessa, qualunque poi sia la densità dell'aria che occupa questo spazio. Così alla temperatura di 15°, il vapore preso a un'altezza qualunque, ha una forza elastica misurata da 13*mil.*, 5, ossia 6 linee di mercurio, la quale si aggiunge all'elasticità solita dell'aria, per far equilibrio alla pressione degli strati superiori (§. 299). Dunque quando il vapore è sottoposto all'influenza dell'atmosfera, nel qual caso è sempre uniformemente denso, è in maggior quantità, in eguali spazii, di quello che se, abbandonato alle sue proprie forze, avesse una densità, la quale non essendo eguale alla precedente se non nel primo strato, scemasse progressivamente in tutti gli strati.

Digitized by Google

DELLA FORMAZIONE DELLE NEBBIE, DELLE NUBI, DELLA NEVE E DELLA PIOGGIA, PER MEZZO DEL VAPORE VESCICOLARE.

476. Fin qui abbiamo considerato il vapore, come conservato allo stato di fluido elastico dall' interposizione delle molecole del calorico fra le molecole acquee. Finchè il vapore non è maggiore in quantità di quello che l'aria può contenere fra le sue molecole, non altera la trasparenza di questo fluido; e i raggi della luce passano con egual libertà a traverso dell'aria e del vapore; ma quando questo si accumula in tal quantità da superare la capacità dell'aria, essa cambia stato, e ci apparisce sotto quei varii aspetti che formano tutta la scena delle meteore.

477. Quando principia questo cambiamento di stato, il vapore di cui l'aria in questo caso è eccessivamente saturata, si trasforma in una moltitudine di piccole sfere concave d'un colore bianco, e che però sono state chiamate *vescichette*, osservate con tanta accuratezza dal celebre Saussure, che nel suo saggio d'Igrometria ci ha trasmessi i resultamenti del suo importantissimo lavoro (*a*).

478. Le nebbie e le nubi non son altro che una riunione di queste vescichette, come asserisce Saussure, che se n'era assicurato osservando immediatamente una nube sopra un'alta montagna. Per fare queste osservazioni, egli sceglieva il momento in cui l'agitazione dell'aria dirigeva qualche piccola porzione della nube verso il fuoco d'una lente che teneva vicina all'occhio, e la quale ingrandiva tanto questo oggetto da farglielo comparire sotto la forma di una piccola sfera bianca. Esaminando ancora a occhio nudo una nube o la nebbia alquanto illuminata, scorgeva le particelle di cui era composta, le quali galleggiavano e si aggiravano per l'aria con una leggerezza, che provava che esse erano vote (26).

479. Il medesimo Fisico fece un'altra esperienza, che consisteva nell'esporre ai raggi del Sole o alla viva luce, in un'aria tranquilla, un vaso pieno d'un liquido molto caldo, d'un color nero o oscurissimo, come il caffè o come l'inchiostro, e vide svolgersi da questo liquido un fumo più o meno denso, il quale dopo essersi elevato fino a una

(*a*) Stampato a Neufchatel, 1783, p. 198, e seg.

(26) Fresnel ha osservato che l'ascensione delle nuvole dipende dalla dilatazione dell'aria intorno ad esse, prodotta dal calorico che è in maggiore abbondanza in quelle che nell'aria atmosferica. Il termometro di Delue si alzò di qualche grado mentre si avvicinava alla terra una nube fortissima, e si abbassò quando questa disparve, a mal grado che il sole vibrasse i suoi raggi a traverso di un'aria purissima. B. Br. T.° XXIV, p. 255.

certa altezza, spariva affatto. Osservando attentamente questo fumo, specialmente con una lente, facilmente scorgeva che esso era composto di grani ritondati, biancastri, e separati gli uni dagli altri.

480. In questa esperienza appariva un fenomeno analogo a ciò che giornalmente vediamo nella produzione del fumo. Il vapore che si svolge ad ogni momento, incontrando un'aria più fredda di se, nè potendo interamente situarsi negl' interstizii di essa, la porzione che sopravanza soffre un raffreddamento che lo condensa, e lo rende sensibile all'occhio sotto la forma d'un vapore vescicolare, che per la sua leggerezza specifica si eleva nella parte superiore dell' aria, oppure trovando in essa alcuni interstizii liberi, vi si introduce e sparisce.

481. Nella stessa maniera si formano le nebbie in mezzo a un'aria abbastanza fredda perchè esse vi restino sospese, e in tale stato formano un velo più o meno denso con cui coprono gli oggetti circostanti. La differenza che passa fra le nubi e le nebbie, consiste nell' essere il vapor vescicolare più condensato in quelle che in queste.

482. L'aumento di calore nei giorni d'estate, a misura che il sole si eleva sopra l'orizzonte, fa spesso sparire le nebbie che si eran formate nella notte, e l'aria torna trasparente. In tal caso il calore riduce di nuovo il vapor vescicolare allo stato di fluido elastico; e l'aria così elevata in temperatura lascia introdurre il vapore nei suoi interstizii senza perdita di calore.

Vediamo un effetto del medesimo genere quando cominciamo a rarefar l'aria sotto il recipiente d'una macchina pneumatica. Il raffreddamento che accade nei primi momenti, converte subito una parte del vapore contenuto in quell'aria, in vescichette che precipitano subito in forma di una nuvoletta, la quale presto si dissipa nell' aria in cui si era formata, prendendo di nuovo il suo primo stato, appena il calorico restituito dai corpi circonvicini ha elevata la temperatura a uno stesso grado.

483. Quando la temperatura dell' aria nell'abbassarsi è arrivata al grado di congelazione, le piccole gocce d'acqua che resultano dalla condensazione delle vescichette, si convertono in neve, e riunendosi, nel cadere, in un certo numero, giungono in terra in forma di una specie di stella a sei raggi, se la cristallizzazione loro si effettua in un'aria tranquilla, oppure in forma di fiocchi irregolari, se l'agitazione dell'atmosfera fa urtare fra loro alcuni piccoli cristalli, e si riunisce in gruppi.

484. La neve come è noto, servendo quasi di mantello alle piante, le difende nell' inverno dagli effetti del freddo dell'atmosfera; e inoltre contribuisce alla conservazione di esse, prevenendo quel radiare verso il

cielo, che nelle notti tranquille e serene basta per far prendere ai corpi terrestri una temperatura molto inferiore a quella dell'aria.

485. Finalmente quando la temperatura dell'aria è divenuta all'opposto alquanto più elevata, le particelle del vapore condensato si riuniscono in gocce di pioggia nel mezzo dell'atmosfera stessa, la quale non potendo più sostenerle, le abbandona alla loro gravità.

486. È facile vedere l'analogia che hanno con questi fatti tanti altri che osserviamo familiarmente. Ognuno sa che in tempo di gelo si trovano umidi i vetri nell'interno di una stanza, poichè in tal caso l'aria esterna è più fredda dell'interna, il calorico contenuto in quest'aria che è a contatto coi vetri, potendo liberamente passare a traverso dei pori di essi, si diffonde nell'aria esterna per soddisfare la sua tendenza verso l'equilibrio, e quindi le molecole del vapore contenute nell'aria prossima ai vetri, si condensano a segno da formare acqua, la quale si dispone poi sulla superficie dei vetri medesimi. Accade l'opposto quando il ghiaccio si fonde, mentre allora la temperatura esterna è più alta dell'interna, per lo che si dice fredda la stanza, e in tal caso l'umidità apparisce sulla parte esterna dei vetri. Con ciò si spiega perchè il fiato degli animali, che nell'inverno è più caldo dell'aria nella quale si diffonde, divien visibile sotto forma di una nuvola prodotta dalla condensazione delle molecole acquee, che essa porta con se.

Non parleremo della rugiada, perchè la spiegazione della sua formazione, data da Wels, dipende dalla teoria del calorico di cui abbiamo già parlato. Neppure parleremo qui della grandine, poichè questo fenomeno appartiene più che ad altro all'elettricismo, e in quel trattato infatti ne parleremo, esponendo le idee di Volta, il quale spiega la produzione di essa per mezzo dell'azione elettrica.

487. La meteorologia è una delle parti della fisica meno conosciute, nello stato presente delle nostre cognizioni. L'ultimo fenomeno, per esempio, che abbiamo descritto, cioè il ritorno dal vapore allo stato liquido, è tale che ignoriamo ancora le cause delle sue variazioni: ora un seguito di giorni chiari e sereni è interrotto da una lunga pioggia; ora una densa nuvola circondata da molte altre intorbida a un tratto la serenità del cielo: questo ammasso di nuvole agitato da un vortice di vento, versa, come un torrente, una di quelle abbondantissime piogge che si chiamano *nembi*; un momento dopo ricomparisce il sole in tutto il suo splendore, e tutto è talmente sereno e tranquillo, che del fenomeno non resta altra memoria se non l'acqua che seguita a scorrere per le vie, nè l'occhio scorge nel cielo o le tracce della sua recente apparizione, o il presagio del suo vicino ritorno.

Delle Trombe.

488. Un altro fenomeno, che ecciterebbe la maraviglia se fosse meno formidabile, è quello della *tromba*. Deriva esso da una nube che ordinariamente apparisce in forma di un cono rovesciato, con la base unita ad altre nubi alle quali è sospeso. Quando la tromba si forma sopra il mare, l'acqua sottoposta ad essa si eleva formando un secondo cono, l'asse del quale è nella stessa direzione dell'asse del cono superiore. L'acqua che precipita da ogni parte della tromba, e a cui si unisce talora un'abbondantissima grandine, è spinta a moltissima lontananza dagl'impetuosi venti che si scatenano intorno; e orribili sono i danni che essa produce, come sbarbare piante fortissime, e trasportarle a grandi distanze, rovesciare tetti e cammini, e qualche volta ancora i muri delle case e l'aste medesime di ferro a cui sono attaccate le banderuole dei venti. Quando i marinari scorgono da lontano una tromba, tentano con ogni sforzo di allontanarsi, temendo di restar sommersi nel momento col loro vascello, se si trovassero sotto l'azione di essa. Questa meteora è più rara sopra la terra che sopra il mare, e ordinariamente apparisce in tempi caldissimi e dopo una lunga calma (*a*) (27).

RIFLESSIONI SULLE INDICAZIONI DEL BAROMETRO.

489. Le variazioni dell'atmosfera accrescendo o scemando la pressione dell'aria sul mercurio del barometro, producono un allungamento o un raccorciamento della colonna di questo liquido, sicchè l'altezza del mercurio indica ad ogni momento la quantità di questa pressione: e poichè il più delle volte il barometro si abbassa quando l'aria è agitata e disposta alla pioggia, e si alza all'avvicinarsi d'un tempo quieto e sereno, così a certi gradi della scala sono state unite certe indicazioni dello stato del cielo, che il mercurio suol presagire. Ma l'osservazione prova che il bel tempo e la pioggia non influiscono costantemente e regolarmente sulle variazioni del barometro, le quali con la sola pressione dell'atmosfera hanno un esatto rapporto, e può dirsi che l'aritmetica di questo strumento è più sicura del suo linguaggio.

Supponendo ancora che le indicazioni del barometro fossero d'ac-

(*a*) *Encycloped. méthod. Marine*, t. III., par. 2. pag. 791.

(27) Tre fenomeni di questo genere sono accaduti nel giro di pochi mesi, dei quali si può vedere il racconto nell'Antologia, Vol. XII. p. 164.

Digitized by Google

sempre coi fatti, bisognerebbe potere spiegare questo accordo in una maniera soddisfacente: ma nonostante lo studio di valenti fisici su questo argomento, come in generale su tutto ciò che riguarda le variazioni dell'atmosfera, finora la teoria loro ci sembra molto imperfetta. Abbiamo solamente certi principii derivati dalle esperienze di Saussure, Deluc, Gay-Lussac e Dalton, principii solidamente stabiliti, e talmente collegati con lo scopo di questa teoria medesima, che possiamo sperare, che per mezzo loro verrà essa un giorno sufficientemente sviluppata. Il combinare questi principii con una serie d'osservazioni sullo stato dell'atmosfera, è l'unico mezzo per togliere le difficoltà che si incontrano per parte della varietà dei fenomeni che la teoria mal può combinare insieme, e per parte delle varie cause, le quali spesso si combinano nella produzione d'un solo fenomeno.

DELL' ORIGINE DELLE FONTANE.

490. Per mezzo dell'evaporazione i fisici hanno potuto spiegare un fatto, sul quale erano stati incerti per molto tempo. I fiumi e i torrenti si vedevano continuamente portar l'acque loro verso il mare dalle proprie sorgenti, le quali però non si disseccavano mai; e dall'altra parte il mare che da ogni parte riceveva questi tributi di acque, non si vedeva mai ridondare, e quindi si concludeva che l'acque tornavano dal mare ai fonti, per una comunicazione non interrotta, preparata dalla natura. Ma per quale strada accadeva questo ritorno? dove erano i condotti che dal mare riportavano l'acque alle sorgenti dei fiumi? in qual modo perdevano la loro salsedine in questo passaggio? Era questa una gran difficoltà, per sciogliere la quale furono immaginate diverse ipotesi più speciose che solide.

Taluno con Cartesio credeva che l'acque del mare si portassero per mezzo di canali sotterranei in certe caverne alle falde dei monti, che quindi per mezzo del calore di questi luoghi sotterranei evaporizzassero, e depositassero così i sali che tenevano in dissoluzione, e dopo essersi elevate in questo stato aeriforme fino alle pareti superiori di queste cavità, ivi si condensassero per mezzo del raffreddamento; e ridotte così nuovamente in stato liquido, formasserò quivi l'origine dei fiumi. Ognuno vede che era questa un'operazione perfettamente simile alla distillazione chimica che si eseguisce nei nostri laboratorii.

Altri pensavano che l'acque del mare, spinte dall'azione del flusso, si introducessero nella terra per mezzo di infinite fessure fra le quali filtrassero, spogliandosi così di qualunque sale; e queste specie di ca-

nali che si diramavano per ogni parte, le conducevano fino a certi punti, dove riunite formavano altrettante sorgenti.

Ma secondo l'idea di una sana fisica, ognuno si accorge facilmente che l'ammettere nella natura questi lambicchi e questi filtri, era lo stesso che prestarle i nostri strumenti, e supporre imitatrice lei che suol esserci modello, e modello qualche volta inimitabile. La vera origine delle fontane fu trovata in fine nelle piogge stesse, come l' osservazione e la ragione facilmente lo provano.

491. Infatti l'acqua si eleva da ogni parte nell'atmosfera per mezzo dell'evaporazione; quella del mare deposita il suo sale, a misura che le sue molecole si staccano dalla sua superficie per mescolarsi con l'aria. Una porzione delle rugiade e delle piogge che provengono da queste acque cade sulle cime dei monti, le quali sembrano avere una certa azione di affinità sulle nubi, e richiamarle a se: ed è stato osservato infatti che una nube incontrando nel suo cammino la cima d'un monte, va dissipandosi a misura che le sue parti si trovano a contatto con essa: da queste estremità così imbevute di acque, l'acque stesse filtrano nel seno dei monti, finchè non trovano un letto per esse impenetrabile, e quindi vanno a scaturire in varii punti de' monti stessi, dove apparisce visibile il letto che le ha ricevute.

Nelle montagne primitive, le acque scorrono sopra pietre durissime che compongono il pendio di queste grandi masse, e riunite in certa quantità formano i torrenti. Nelle montagne secondarie, composte di materia più molle e quasi spugnosa, l'acque penetrano a una profondità maggiore, finchè vengono trattenute da certi strati d'argilla dei quali esse seguono l'inclinazione, e nell'unione appunto di alcuni di questi strati si trovano sorgenti di fontane; e quelle che non compariscono alla superficie, proseguono a scorrere nel seno della terra, ove l'uomo va a cercarle per mezzo dell'aperture dei pozzi che scava in vicinanza delle sue abitazioni.

492. Ma come mai la sola evaporazione poteva somministrare questa immensa quantità d'acqua necessaria a mantenere tante sorgenti, aggiungendovi specialmente quella perduta dai fiumi e dalle altre correnti, che serve di bevanda agli animali o è assorbita dalle piante? Mariotte, nel suo Trattato del moto dell'acque, ha esaminata tal questione con la sua solita esattezza; e paragonando la quantità d'acqua piovana che cade in Parigi e nel circondario in un anno medio, con quella che nel tempo stesso passa sotto il Ponte-Reale, con l'osservazione e col calcolo ha trovato, che l'acqua che cade è tanto maggiore della quantità la quale basterebbe a mantenere i fiumi e gli stagni, che bisogna supporre il resto impiegato dalla natura, con una profusione per così dire ecces-

siva, ai bisogni della vegetazione, e ad altri consumi particolari. Lo scioglimento della difficoltà sembra presentare una nuova obiezione in senso contrario (*a*).

In questa spiegazione si ravvisa l'opera semplicissima della natura. L'aria atmosferica, con una sola azione, dà continuamente un libero accesso fra le sue molecole a quelle dell'acque sparse sulla superficie del globo, e dopo aver servito loro di condotto, le lascia precipitare qua e là, distribuendole a chiunque le richieda, come alle piante e ai prati che in certo modo vengon dissetati, alle sorgenti dei fiumi che vengono alimentate da esse, e all'Oceano del quale riparano le perdite

DEGLI AEROSTATI.

Mezzi usati anticamente per elevarsi nell' aria.

Mongolfier sarà sempre celebre per l'invenzione degli Aerostati, e poichè questa scoperta dipende dalla cognizione dei diversi stati dell'aria che abbiamo fin qui considerati, e per l'altra parte ha tanta relazione con la fisica, e può forse divenire il principio di altre scoperte dello stesso genere, merita di esser qui esposta con qualche particolarità.

493. L'idea d'un viaggio intrapreso dall'uomo per le regioni dell'aria, prometteva uno spettacolo sì imponente e sì capace di eccitare la più alta maraviglia, che era naturale che dovessero trovarsi uomini tanto arditi da tentare di effettuarlo. Il volo degli uccelli che inspirava une certa gelosia, parve offrire il modello del meccanismo che doveva servire all'esecuzione del progetto: ma l'uccello è formato in un modo adattato alla sua destinazione; conformazione del corpo, situazione e struttura dell'ali composte di penne, ossia tubi voti, di sostanza leggerissima, grandissima forza muscolare per cui può colpir l'aria per fenderla affine di slanciarsi o elevarsi o abbassarsi, tutto concorre a renderlo capace di eseguire i varii moti che formano il volo. Nell'uomo al contrario la forza dei muscoli, lungi dal procurargli quella leggerezza a cui si oppone il suo peso, è anzi moltissimo inferiore a quella che sarebbe necessaria perchè egli potesse librarsi liberamente sull'aria, con un eccesso di velocità capace di fargli trovare un punto d'appoggio in questo fluido tanto mobile e tanto facile a cedere: quindi tanto infelici furono nell'esito i tentativi di coloro, i quali aspiravano a praticare un' arte che doveva lasciarsi agli eroi della favola.

(*a*) *Traitè de Mouvem. des Eaux.* Paris, 1718. p. 158 e seg.

494. In vece del meccanismo del volo poteva usarsi il meccanismo della navigazione per giungere al medesimo scopo Nei due secoli ultimamente decorsi, Lana e Gallieno proposero due mezzi per ottener questo intento: Lana formava il suo apparecchio con quattro globi di rame vasti e sottilissimi, i quali votati poi d'aria, sarebbero capaci per la loro leggerezza di elevar l'uomo e il suo globo (*a*); ma secondo alcuni non era adottabile questo progetto, sul timore che i globi non fossero per crepare in virtù della pressione dell'aria atmosferica esterna.

Più ammissibile pareva l'idea di Gallieno, il quale si proponeva di far galleggiare sull'aria un gran globo pieno d'un'aria più leggiera di quella che lo sosteneva (*b*). La difficoltà consisteva nel mettere in esecuzione questo principio; ma poichè Gallieno non pretendeva di presentare se non una fisica ricreazione, e far viaggiar l'uomo solamente col pensiero, tutti i mezzi per lui erano opportuni, pur che fossero possibili in natura: quindi nella sua idea formava il suo globo grande quanto una città, e capace di contenere un'armata con tutto il treno, e con le opportune provvigioni per un lungo viaggio: supponeva quindi che il globo venisse trasportato a tale altezza, dove l'aria che lo sosterrebbe fosse una volta più grave di quella di cui era stato empito. Ma qualunque fosse quest'altezza, l'aria interna del globo si sarebbe compressa per effetto del proprio peso, nello stesso rapporto dell'aria circostante; e quindi ognuno vede che in tal caso esso non si sarebbe potuto sostenere un sol momento in mezzo all'atmosfera.

Primi Aerostati.

495. Non eran questi che infruttuosi tentativi per elevarsi nell'aria, o idee false e romanzesche; quando nel 1782 Mongolfier riflettendo sul fenomeno delle nuvole che si sostengono galleggianti sull'atmosfera, immaginò di formare certe nuvole fittizie, composte di vapori prodotti dalla combustione di alcune sostanze, e avvolte in leggerissimi inviluppi; e pensò che questi vapori mescolati con l'aria rarefatta dal calore dentro questi inviluppi stessi, formerebbero con essi un tutto specificamente più leggiero dell'aria circostante. Vedendo che i primi tentativi che egli fece in questo genere insieme con suo fratello riuscivano felicemente, li ripetè nell'anno seguente ad Annonay in presenza di un gran numero di spettatori; i quali in principio non vedevano se non che una

(*a*) Prodromo dell'Arte Maestra, Brescia 1670.
(*b*) *L'art de naviguer dans les airs*, Avignon, 1755.

specie di gran sacco formato di carta, informe da principio, coperto di pieghe, e come compresso dal proprio suo peso, ma che poi si gonfiava, e si dispiegava per effetto del calore, e quindi, in forma di un globo di cento dieci piedi di circonferenza, si alzava fino all'altezza di mille tese.

Furono in seguito ripetute più volte queste esperienze a Parigi; e di più in queste macchine si elevarono alcuni uomini che da per se mantenevano il fuoco in uno scaldavivande sospeso all'apertura dell' aerostata; ma per le prime volte la macchina era trattenuta da alcune corde per cui non poteva elevarsi che ad un' altezza determinata. Pilatre des Rosiers et Darlandes furono i primi ad elevarsi in un aerostata libero nel suo innalzamento, e percorsero circa quattromila tese in diciassette minuti, dando lo spettacolo del primo viaggio che l' uomo abbia fatto per l' aria.

Mongolfier, nelle sue prime esperienze, per gonfiare l'aerostata si servì della combustione di materie animali mescolate con paglia; e però poteva forse credersi che un gas particolare composto di varii principii che si svolgevano nella combustione, facesse elevare l'aerostata; ma è ormai provato che questo effetto derivava unicamente dalla rarefazione dell' aria contenuta in esso.

Aerostati a aria infiammabile.

496. Poco tempo dopo la nuova esperienza di Annonay, Charles propose di sostituire all'aria rarefatta il gas idrogene, il quale nella sua massima purità è circa tredici volte più leggiero dell'aria atmosferica; e a questo fine non mancava altro se non che trovare un inviluppo impenetrabile da questo gas, e quindi capace di contenerlo. Questa maniera era più dispendiosa, ma meno pericolosa e più semplice della prima; oltre di che veniva non poco scemato e il volume e il peso dell'aerostata. Fra le varie sostanze per formarne l'inviluppo, Charles preferì il taffettà inverniciato con gomma elastica, che per mezzo di incisioni si estrae dal sugo d'una pianta d'America, la qual gomma, si scioglie nell'olio di terebinto prima di distenderla sul taffettà. In questa maniera fu formato un globo di circa dodici piedi di diametro; e lasciato libero sul campo di Marte, si alzò quasi cinquecento tese in due minuti, sostenendosi sull'aria quasi tre quarti d'ora, e cadendo poi alla distanza di quattro leghe da Parigi.

Poco dopo, Charles e Robert, portati da una piccola navicella sospesa a un altro aerostata del medesimo genere, di ventisei piedi di diametro, percorsero per l'aria, prima di scendere, uno spazio di

nove leghe; e Charles, restato solo nella navicella, con un' azione degna del suo zelo e del suo coraggio, si elevò di nuovo, e in un momento fu visto ascendere a un' altezza di circa mille settecento tese, quasi andando, in nome dei Fisici, a prender possesso delle regioni delle meteore.

497. Elevandosi un globo di questa specie in strati d'aria che vanno sempre progressivamente scemando in densità, il gas contenutovi, trovandosi sempre meno compresso, si dilata sempre più, e quindi potrebbe derivarne la rottura del pallone. Per prevenire questo caso si adatta alla parte superiore del globo una valvula, d'onde si può far escire a piacere una porzione di gas quando è troppo dilatato; oppure si costruisce la valvula stessa d'una materia meno consistente del taffettà dell'aerostata, affinchè essa si apra naturalmente per dar esito al gas nella medesima circostanza.

Bisognava che i viaggiatori aerei, quando volevano scendere, perdessero pure una porzione del gas di cui eran provvisti; per la qual cosa alcuni immaginarono di chiudere l'aerostata in un altro globo pieno d'aria atmosferica, adattando a questo un soffietto che servisse per scemar quest'aria o per introdurvene di più, lo che rendeva facile al viaggiatore l'elevarsi o l'abbassarsi quante volte voleva, conservando sempre intera la quantità del suo gas idrogene.

Usi degli Aerostati per i progressi della Fisica.

498. La perfezione a cui sono stati ridotti i palloni aerostatici, faceva sperare che queste belle macchine potessero servire a facilitare l'acquisto di molte cognizioni relative alla fisica: e ciò infatti è accaduto, almeno in parte, dacchè Biot e Gay-Lussac, due dei più celebri fisici, si offrirono da per se per un viaggio aereo, per il quale sarebbero stati scelti egualmente dal voto comune della società dei dotti; e in seguito mostreremo quali furono i frutti di questo viaggio. Intanto è opportuno qui il parlare di alcune particolari utili osservazioni fatte da Gay-Lussac in un altro viaggio aereo che intraprese egli solo, e che sarà sempre famoso per l'altezza a cui egli si elevò, maggiore di qualunque altra a cui sia mai giunto un uomo, cioè di 6977*met.*,37(3579*tese*,9) sopra Parigi, e di 7016*met.*(3600*t.*)sopra il livello del mare. Gay-Lussac, quando fu giunto con l'aerostata all'altezza di 6636 metri, avendo aperto un globo di vetro che egli aveva portato seco voto d'aria, se ne servì per attingere una quantità d'aria atmosferica nella regione in cui si trovava, e lo richiuse poi esattamente. Tornato a Parigi, analizzò quest'aria, paragonandola con l'aria del cortile d'ingresso della scuola Politecnica, e trovò

l'aria che respiriamo alla superficie della terra, e quella delle più alte regioni, son composte di eguali elementi, e tanto l'una che l'altra contengono 0,2149 d'ossigene (a).

3. DELL' ARIA CONSIDERATA COME CONDUTTORE DEL SUONO.

Considerando l'aria come il mezzo per cui vien trasmesso il suono, esporremo primieramente i fenomeni generali dei corpi sonori, quindi passeremo al paragone dei suoni distinti, dedotto dal rapporto dei numeri delle vibrazioni corrispondenti; e finalmente dalle osservazioni degli effetti relativi agli strumenti a fiato dedurremo la teoria più verisimile della propagazione del suono.

Del suono in generale.

499. Il suono nasce da un moto vibratorio impresso nelle molecole d'un corpo, o per mezzo di percossa o in qualunque altra maniera. Se per esempio si pizzica la corda d'uno strumento, tutti i suoi punti si allontanano subito dalla situazione in cui erano quando la corda era in riposo, e se ne allontanano più o meno secondo che sono più o meno lontani dai punti in cui è fissata la corda stessa, la quale va e viene alternativamente di qua e di là dalla sua prima situazione per un moto di vibrazione che deriva dalla sua elasticità.

Le molecole d'aria contigue ai varii punti della corda si muovono uniformemente ai punti mossi della corda stessa; queste comunicano simili moti alle molecole vicine, e così successivamente fino a quelle che sono in contatto col timpano dell'orecchio; e queste finalmente comunicano le proprie vibrazioni a quella membrana che le trasmette al nervo auditorio, e da ciò resulta la sensazione del suono.

500. Supponiamo che il corpo sonoro sia un campanello, come nell'esperienza che fra poco citeremo. Possiamo concepire questo campanello come formato d'un'infinità d'anelli sovrapposti dalla base fino alla cima: nel momento della percossa, ciascun anello si comprime in modo da prendere una figura ovale, che ha il suo asse maggiore perpendicolare alla percossa. Mentre l'anello torna alla sua prima figura, si cambia nuovamente, e diventa un'ovale opposta alla prima; e questi due cambiamenti son seguiti da altri simili, finchè il suono cessa insieme col moto. Le vibrazioni delle varie molecole che compongono ciascun anello, eccitano egualmente nell'aria vicina una leggiera agita-

(a) *Journ. de Phys.. Frimaire* an. XIII, p. 454. e seg.

zione, la quale si comunica successivamente agli altri strati d'aria circonvicina, fino a un punto in cui non più si ode il suono; e lo stesso in proporzione si dica di qualunque corpo urtato o percosso.

In quanto poi all'energia del suono prodotto da un campanello, bisogna riflettere che gli anelli posti alla base fanno più lentamente le loro vibrazioni, perchè hanno una circonferenza maggiore; mentre gli anelli più prossimi alla cima, di minor circonferenza, producono vibrazioni più frequenti. Dunque in questo caso, come nei pendoli composti, si forma una compensazione, per cui le vibrazioni si riportano a un'egual durata, che è come una durata media fra quella che si osserverebbe negli anelli inferiori, e quella che misurerebbe il moto degli anelli superiori, se gli uni e gli altri fossero isolati.

501. Un'osservazione facile a farsi, ma che merita d'essere indicata, è quella dell'effetto prodotto sull'acqua dalle vibrazioni d'un bicchiere, pieno di questo liquido quasi fino all'orlo, quando si scorre con un dito bagnato l'orlo stesso, per produrre un suono conosciuto da chiunque si è divertito a ripetere quest'esperienza. In tal caso si osserva che l'acqua gira intorno al bicchiere nella direzione stessa del moto del dito; e nel tempo stesso la sua superficie è tutta sparsa di crespe biancastre che si succedono rapidamente andando dall'orlo verso il centro; e se si acceleri moltissimo il moto del dito, le molecole dell'acqua zampilleranno da ogni parte intorno al bicchiere e sulla mano dello sperimentatore. Questa esperienza riesce meglio servendosi d'un bicchiere col piede, il quale più facilmente si può tener fisso in una situazione, appoggiando la mano sulla base.

Si osservi ancora che le crespe che nascono sulla superficie dell'acqua, in queste circostanze divengon più piccole e più rapide in proposizione dell'acutezza del suono prodotto dal dito.

502. Il suono si propaga per ogni parte in linea retta finchè non è trattenuto da verun ostacolo; sicchè ogni punto del corpo sonoro può considerarsi come vertice comune d'un'infinità di coni sottilissimi, e di una lunghezza indefinita, e ciascuno di questi coni è ciò che si chiama *raggio sonoro*.

Basti per ora questo abbozzo della teoria del suono, che svilupperemo in seguito, dopo aver premesse le cognizioni necessarie per ben concepirla.

503. Semplicissima è l'esperienza con cui si prova che l'aria è il conduttore del suono. A questo fine, basta porre sotto il recipiente della macchina pneumatica, e precisamente sopra un cuscinetto di cotone o di lana, il castello d'un oriuolo adattato a far suonare una piccola campana. Si fa il voto, e quindi per mezzo di un fusto che attraversa dall'alto il recipiente, si procura lo scatto della molla, che rilasciata fa muovere la ruota; e allora si vede il martello urtare continuamente la campana, ma non si sente verun suono.

Hauksbèe, per render l'esperienza ancor più decisiva, poneva il campanello sotto un recipiente che restava pieno d'aria, e che era coperto da un altro recipiente disposto in modo che poteva farsi il voto fra uno e l'altro; ma quantunque si producesse il suono nel recipiente interno, quando si imprimeva il moto al martello, nulla però si sentiva dall'osservatore (*a*).

504. Quindi è che in un'aria un poco rarefatta, quale è sulle cime delle alte montagne, il suono deve perdere di forza; e se questa cima è isolata, l'assenza di corpi capaci di ripercuotere i suoni ne scemerà pure l'intensità. Ciò è stato osservato da Saussure sulla cima del Montebianco, ove, come egli riferisce, un colpo di pistola non faceva che un rumore simile a un semplice fuoco d'artifizio in una stanza (*b*).

505. Dall'altra parte è stato osservato che il suono acquista nuova forza a traverso d'un'aria condensata; e che restando la stessa la densità, la forza del suono cresceva quando per mezzo del calore si aumentava l'elasticità dell'aria.

506. Si ascolta il suono ancora a traverso dell'acqua, benchè più debolmente, o si ponga nel liquido il corpo sonoro, ossia che l'osservatore stesso vi si trovi immerso; e ciò indica, come abbiamo già osservato (§. 321), che l'acqua è compressibile ed elastica fino a un certo punto, quantunque fin'ora nessuno abbia potuto provare questa compressibilità con esperienze dirette.

507. Qualunque corpo solido il quale abbia tale struttura, che il moto di vibrazione impresso a qualcuna delle sue molecole possa comunicarsi a traverso della sua massa, sarà pure capace di trasmettere il suono. Se si faccia battere con un capo di spillo l'estremità d'una lunga pertica, tenendo noi l'orecchio applicato all'altra estremità, sentiamo un suono che neppur sentiremmo a traverso della grossezza della pertica

(*a*) *Exp. phys. mèc.* ec. Paris 1754. t. II., p. 326.
(*b*) *Voyages dans les Alpes*, N. 2020.

stessa; e troviamo tal differenza fra questi suoni, perchè il suono segue la direzione delle fibre longitudinali, in cui la continuità delle parti è più perfetta che nella direzione trasversale; ed è cosa notabile che queste parti sieno tanto elastiche, che il suono si indebolisca pochissimo percorrendo lo spazio occupato da esse.

508. I corpi che urtano l'aria immediatamente, eccitano essi pure in questo fluido vibrazioni sonore, e da ciò deriva il sibilo che si sente per l'aria all'agitar d'una frusta o d'una mazza: anzi l'aria stessa divien capace di risuonare quando arriva a colpire un corpo solido con una certa celerità, come quando il vento soffia contro le fabbriche, contro gli alberi, o altri corpi che trova sul suo passaggio.

Della celerità del suono.

509. Il suono impiega un certo tempo a spargersi nell'aria, e quanto più un orecchio si allontana dal luogo ove esso è prodotto, tanto più tardi lo sente. I fisici hanno cercato di determinare con esperienze la celerità con cui si propaga il suono, e a tal oggetto hanno tratto partito dalla celerità della luce che può riguardarsi come istantanea, almeno nelle distanze a cui si estendono le nostre misure. L'esplosione del cannone era opportuna per questa ricerca, poichè bastava osservare l'intervallo fra il momento in cui la luce indicava la partenza del suono, e quello in cui il suono stesso si annunziava all'orecchio. E poichè tutte le esperienze lasciavano ancora qualche incertezza su queste verità, l'Accademia delle Scienze nel 1738 si determinò a far nuove osservazioni su questo argomento, sopra una linea di 14636 tese, situata fra Montlhéry e Montmartre.

Fu trovato che il suono aveva una celerità uniforme, che gli faceva percorrere circa 173 tese (337 metri) ogni minuto secondo, sicchè a grandi distanze non era che più debole, ma sempre percorreva spazii eguali in tempi eguali. Appariva pure uniforme questa celerità, o fosse il tempo piovoso o sereno, e soltanto la direzione e la forza nel vento potevano farla variare: se la direzione del vento era perpendicolare alla linea che andava dal corpo sonoro all'osservatore, la celerità del suono era la stessa che in tempo di calma; ma se si combinava con questa linea, bisognava o aggiungere o togliere dalla celerità del suono quella del vento, secondo che la direzione di questo era contraria o cospirante: finalmente la forza del suono non produceva verun cambiamento di celerità.

Per mezzo della cognizione della celerità del suono, osservando l'intervallo fra il lampo e il rumore di un cannone, si possono subito conoscere alcune distanze che ci giovi di sapere, come la distanza a cui

possiamo trovarci da una città assediata, da un vascello o da un porto di mare.

510. Ancora per mezzo del calcolo i fisici hanno cercato di determinare la celerità del suono; ma essa fu trovata in teoria molto minore di quella che resultava dall'osservazione, senza poter dare però in veruna maniera una ragione soddisfaciente di questa differenza.

La Place riflettendo sopra un fenomeno spiegato poi dalla chimica moderna, crede di poter dedurne lo scioglimento della difficoltà dalla difficoltà stessa Si sa che dall'aria si sprigiona una porzione del calorico latente, a misura che essa vien condensata, il quale passa allo stato di calorico sensibile; e assorbisce all'opposto una quantità di calorico sensibile, quando vien rarefatta, il quale diviene calorico latente (§. 229). Ora nella propagazione del suono, le molecole dell'aria provano successivamente certe piccole condensazioni e dilatazioni simili a quelle di una molla che venga alternativamente o tesa o rilassata: quindi nel momento della condensazione sviluppano una piccola quantità di calore, che elevando la loro temperatura ne accresce la forza elastica, dal che resulta un'accelerazione nella velocità del moto vibratorio delle medesime. Quando poi il rilassamento, che è una vera dilatazione, succede alla compressione, ritorna sensibile la piccola quantità di calorico sprigionato, e così ripetendosi in seguito i medesimi effetti, il suono deve propagarsi più rapidamente, che nel caso di una temperatura uniforme.

Quest'idea acquista un nuovo aspetto di verità per la maniera con cui Biot ha applicata ad essa l'analisi matematica. Egli ha introdotto nella formula, che secondo l'ordinaria teoria rappresenta la velocità del suono, l'espressione dell'aumento di velocità che deve esser prodotto dall'azione del calore; e poichè le quantità che entrano in questa espressione non potrebbero determinarsi con l'esperienza se non con grandissima difficoltà, egli ha proposto a se stesso il problema inverso, il quale consiste nel cercare, per mezzo delle cognizioni acquistate sulla propagazione del suono, qual debba essere la piccola porzione di calore divenuta sensibile in ciascuna condensazione, e l'aumento di elasticità che ne viene per conseguenza, affinchè sia d'accordo con l'osservazione; e ha trovato che i valori ai quali conduceva il calcolo non avevano nulla che non fosse combinabile con ciò che resultava dalle esperienze generali; e da ciò resulterà forse una soluzione diretta del problema, fondata sulla causa indicata di sopra, quando l'osservazione abbia somministrati i dati necessarii per arrivarvi.

511. Dicemmo che l'aria non è il solo mezzo capace di trasmettere il suono, e che i corpi solidi e l'acqua hanno essi pure questa proprietà, la quale è stata altresì riconosciuta in alcune sostanze aeriformi. Hassen-

fratz ha intrapresa una serie d'esperienze, fatte in circostanze adattate a renderle decisive, per paragonare la celerità del suono propagato per mezzo dell'aria, con quella del suono propagato per mezzo dei corpi solidi col fine ancora di estendere questo paragone all'intensità del suono, deducendolo dalla differenza delle distanze alle quali cessa di sentirsi, secondo che è trasmesso o nell'una o nell'altra maniera.

Questo fisico essendo sceso in un sotteraneo di Parigi, commise a qualcuno di colpire con un martello una delle pietre che formano il muro di uno dei corridori che sono in mezzo a questi sotterranei: intanto egli andava allontanandosi a poco a poco dal punto percosso, applicando un orecchio a quel muro, e presto distinse due suoni, l'uno trasmesso dalla pietra e l'altro dall'aria. Il primo arrivava all'orecchio molto prima dell'altro: ma diveniva però molto più debole per l'ossevatore, a misura che egli si allontanava; sicchè cessò di sentirsi alla distanza di 134 passi, mentre quello trasmesso dall'aria non divenne insensibile che alla distanza di 400 passi

Simili effetti sono stati osservati in corpi di diversa natura, come palizzate di legno o sbarre di ferro disposte sopra una certa lunghezza, con questa differenza, che il suono propagato per mezzo del legno percorreva un intervallo molto maggiore del suono trasmesso dall'aria, prima di giungere al termine in cui fosse insensibile all'orecchio, lo che era l'effetto inverso di quello osservato nel paragone dei suoni propagati dall'aria e dalla pietra. Lo stesso fisico ha notato di più, che non solo la trasmissione del suono per mezzo dei corpi solidi è generalmente più rapida che per mezzo dell'aria, ma che essa accade in un tempo infinitesimo, almeno a quella distanza in cui furon limitate le esperienze, e la maggior delle quali era di 210 passi.

SUONI REFLESSI.

512. Quando un suono incontra un corpo che gli è di ostacolo, le molecole d'aria che urtano questo corpo sono reflesse come i corpi elastici, facendo un angolo di reflessione uguale all'angolo d'incidenza, e comunicando quindi a quelle che sono dietro di esse il moto ricevuto dalla reflessione; quindi il suono si sparge nuovamente in tutte le direzioni, ritornando dall'ostacolo verso lo spazio a traverso del quale era prima passato Nei luoghi chiusi, come le stanze, il suono è pure tramandato continuamente da un muro all'altro e quando la stanza è a volta, o le sue pareti hanno una certa elasticità, si dice che la stanza divien sonora col che si intende che il suono sembra che si pro-

lunghi in essa, succedendo a se stesso a così piccoli intervalli, che l'orecchio non sa distinguere tutte queste impressioni che gli giungono quasi l'una sull'altra.

Che se questo fenomeno si osservi all'aria aperta, a una certa distanza dall'ostacolo, passerà un intervallo notabile di tempo tra il suono diretto e il suono reflesso, e ne resulterà quel fenomeno che si chiama *Eco*, e che suol riguardarsi come una semplice repetizione dell'ultime parole pronunziate da chi non vi presta attenzione: e facilmente si comprende perchè i Poeti che facevan dell'eco un essere animato, ponevano la sua abitazione nei monti, nei boschi o presso gli scogli.

Secondo che l'ostacolo che reflette il suono è unico, o molti sono gli ostacoli posti a giuste distanze, l'eco è semplice o composto, quale appunto è quello citato da Musschenbroeck, che ripeteva il medesimo suono quaranta volte. Due muri paralleli che si rimandano scambievolmente il suono, possono produrre un eco raddoppiato per un osservatore che sia in uno spazio intermedio.

513. Alcuni edifizii sono talmente disposti con arte, che per mezzo del suono reflesso, producono un effetto curioso che si spiega facilmente per mezzo della Geometria. È noto esser proprietà dell'ellisse, che due raggi condotti dai suoi fuochi a un punto qualunque della curva, fanno angoli eguali a quelli formati dalla tangente condotta al punto stesso: dunque se si supponga una volta o un muro di figura ellittica, tutti i raggi sonori che partono da uno dei suoi fuochi, dopo che si sieno reflessi sui diversi punti della curva, passeranno per l'altro fuoco ove concentreranno il suono. Per la qual cosa, un uomo che appressando la sua bocca a uno dei fuochi pronunzii qualche parola a voce bassa, sarà inteso distintamente da un altro che appressi attentamente l'orecchio all'altro fuoco, mentre nulla intenderà chiunque altro si trovi fra i due interlocutori, e quindi il solo eco sarà il confidente di tali discorsi.

Suoni comparati.

514. Considerato il suono nei suoi più generali effetti, come il moto di vibrazione del corpo da cui nasce, o dell'aria che lo propaga, la velocità con cui passa a traverso di quest'aria, e la sua produzione quando incontra corpi capaci di refletterlo, dobbiamo ora osservare alcuni rapporti fra i suoni, facendone il paragone per mezzo del numero di vibrazioni che fanno alcuni corpi sonori in tempi eguali.

Digitized by Google

Le osservazioni che determinano questi rapporti appartengono alla fisica; e l'arte del compositor di musica consiste nel combinarli in maniera da allettar l'orecchio, o per mezzo della ben ordinata successione dei suoni semplici, o con la giusta combinazione dei suoni contemporanei, nella quale consiste l'armonia. Il fisico non riguarda se non ciò che potrebbe chiamarsi *la musica dello spirito*, e all'artista appartiene *la musica del sentimento.*

515. Solamente fra i suoni capaci d'esser sentiti può farsi un paragone; e per mezzo di questa sola qualità di suono l'orecchio ne giudica, e quindi ad ognuno che senta un suono è facile produrne un altro che imiti quello perfettamente, e che sembri anzi il suono stesso prodotto da un altro organo.

La maniera con cui suol parlarsi dei suoni, come se fossero posti gli uni su gli altri, e il supporre che la voce monti o scenda, non è che un linguaggio figurato suggerito dalle apparenze, e a cui sono state poi adattate le note musicali.

Si dà parimente il nome di *gravi* ai suoni più bassi, e di *acuti* ai più alti.

Ma la differenza reale e fisica fra un suono grave e un suono acuto consiste nel numero delle vibrazioni, che è minore in un corpo che produce il primo, e maggiore in quello che in un tempo eguale produce il secondo.

Dei principali intervalli fra i suoni.

516. Per mezzo delle esperienze fatte sulle corde sonore, è stato trovato un mezzo facile per conoscere il rapporto fra i numeri delle vibrazioni da cui resultano due suoni, i quali differiscon fra loro d'un certo numero di gradi. In generale la frequenza delle vibrazioni di una corda sonora dipende da tre cose, cioè lunghezza, grossezza e tensione della corda. La formula trovata col calcolo da Taylor dimostra, che a densità eguale, e in un tempo dato, il numero delle vibrazioni è proporzionale alla radice quadra del peso stirante, divisa per il prodotto della lunghezza della corda per il suo diametro, lo che vien pure confermato dall'osservazione (28).

(28) Una corda tesa vibrata oscilla in modo che può paragonarsi ad un pendolo. Ma si sa dalla meccanica che il tempo delle vibrazioni di un pendolo è in ragione inversa della radice quadra della gravità che lo fa muovere, dunque il numero delle sue oscillazioni è in ragion diretta della radice suddetta. Ora il peso o forza che tiene stirata una corda, e che quindi la riporta alla direzione orizzontale dopo che ne è stata allontanata dalla vibrazione, equivale alla gravità che opera sul pendolo: dunque *il numero delle vibrazioni di una corda è in ragione della radice del peso stirante.*

517. Per esperienze relative a questo soggetto si fa uso di uno strumento chiamato *sonometro*, che è una specie di cassa bislunga, sulla quale si tendono con pesi due corde d'ottone, per paragonare i numeri delle vibrazioni di esse; e in questa operazione si suol variare una soltanto delle tre cose citate, cioè se per esempio si tende una corda con pesi diversi, si prendon corde della stessa grossezza e lunghezza; e in tal caso prendendo per unità un tempo determinato, il rapporto fra i numeri di vibrazioni in detto tempo è indicato dal rapporto delle radici quadre dei pesi stiranti.

Se si prende parimente per unità il più basso dei due suoni che si paragonano, si avranno i rapporti seguenti fra questo suono e il suono acuto, che si suppone esser inteso contemporaneamente a quello.

L'ottava sarà rappresentata da 2, cioè il suono acuto farà due vibrazioni mentre il grave non ne fa che una, ed è questo l'intervallo fra i due *do* nella scala ordinaria.

La quinta o l'intervallo fra il *do* e il *sol*, nel salire, sarà espressa da $\frac{3}{2}$, cioè il suono acuto di questa consonanza farà tre vibrazioni, mentre il suono grave corrispondente ne farà due.

La quarta o l'intervallo fra il *do* e il *fa*, sarà espressa da $\frac{4}{3}$.

La terza maggiore o l'intervallo fra il *do* e il *mi*, da $\frac{5}{4}$.

La terza minore o l'intervallo fra il *mi* e il *sol*, da $\frac{6}{5}$.

Inoltre, poichè la tensione si distribuisce uniformemente su tutta la corda, il numero delle vibrazioni sarà tanto minore quanto è più lunga la corda, ossia *il numero delle vibrazioni è in ragione inversa della lunghezza della corda.*

Finalmente, poichè una corda grossa può riguardarsi come composta di più corde sottili, si dovrà considerare la sua tensione come divisa in più corde, e però sarà questa la causa di una diminuzione di numero di vibrazioni, ossia il *numero delle vibrazioni è in ragione inversa del diametro.*

Dunque, riunendo queste verità si dirà, che il numero di vibrazioni V è in ragion composta diretta dalle radici dei pesi stiranti P, e inversa delle lunghezze L e dei diametri D delle corde, cioè $V = \frac{\sqrt{P}}{LD}$. Ma i tempi T delle vibrazioni sono in ragione inversa delle vibrazioni stesse, perchè un suono è tanto più acuto, quanto maggior numero di vibrazioni accade in un tempo minore; dunque, chiamando t, l, d, p, il tempo delle vibrazioni, la lunghezza, il diametro e la tensione d'un'altra corda, le vibrazioni della quale sarebbero $v = \frac{\sqrt{p}}{ld}$, avremo $T : t :: \frac{\sqrt{p}}{ld} : \frac{\sqrt{P}}{LD}$, dove, fatto secondo l'uso algebrico, $t = 1 = p = d = l$, sarà $T = \frac{DL}{\sqrt{P}}$; cioè *il tempo delle vibrazioni di una corda è eguale al prodotto del diametro per la lunghezza della corda stessa, diviso per la radice del peso stirante.*

Digitized by Google

Son queste le consonanze: le dissonanze si rappresenteranno egualmente col far variare in molte altre maniere i due termini del rapporto.

DELLA SERIE DEI SUONI COMPRESI IN QUELLO CHE VIEN PRODOTTO DA UNA CORDA VIBRANTE.

Ciascun suono, qual giunge ordinariamente all'orecchio, è giudicato da esso un effetto semplicissimo, una specie di elemento, di cui nulla può alterare la purità: e intanto ciascun suono comprende realmente una moltitudine di altri suoni più acuti, dei quali qualcuno divien capace d'esser sentito in certi casi da un orecchio ancor non molto delicato, e l'esistenza degli alti viene indicata da osservazioni diverse.

Supponiamo primieramente che in un luogo esista una sola corda d'una certa lunghezza, come una di quelle che formano il basso d'un clavicembalo, o il cordone d'un violoncello, e che dopo aver posta ad una giusta tensione questa corda, essa venga vibrata per produrre un suono. Porgendo attento l'orecchio a piccola distanza dalla corda, oltre il suono principale, si sentiranno due altri suoni più deboli, ma distintissimi; e se si rappresenti sempre con l'unità il suono principale, i due suoni che lo accompagnano, saranno rappresentati uno da 3, l'altro da 5, cioè se il primo è *do*, il secondo sarà l'ottava della sua quinta *sol* dell'ottava alta, e il terzo la doppia ottava della sua terza minore *mi*.

Questa esperienza riesce egualmente con un violino, quando si striscia l'arco sulla grossa corda a una piccola distanza dal ponticello, in una direzione perfettamente perpendicolare alla corda, come si pratica per ottenere un suono pieno e distinto, e si possono o lasciare o togliere l'altre tre corde, le quali nulla contribuiscono all'effetto.

Si sente altresì l'ottava 2, come pure la doppia ottava 4 del suono principale, ma è necessaria maggior attenzione per distinguerle, perchè i suoni situati all'ottava l'uno dell'altro sono i più facili a confondersi nell'orecchio.

Abbiamo dunque la serie 1, 2, 3, 4, 5, che rappresenta i diversi suoni sensibili all'orecchio, dei quali è composta l'armonia di un solo suono.

519. Ma un'altra esperienza ci porta a credere che questi non sono che i primi termini della serie vera, la quale si estende all'infinito. Se in fatti accanto a una prima corda se ne dispongano alcune altre, delle quali il numero di vibrazioni, che corrispondono a una sola vibrazione

della prima, sieno 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ec, e se si faccia suonare la prima corda sola, tutte le altre fremeranno e suoneranno nel tempo stesso, quantunque molto più debolmente. Può ancora rendersi visibile questo fremito, ponendo sopra ciascuna di esse un piccolo ponticello di carta, il quale salterà o caderà forse quando si vibra la corda principale.

Se i diametri delle diverse corde sieno eguali fra loro, ed eguali pure sieno le tensioni, le lunghezze delle corde fatte suonare dalla prima, compreso l'unisono, secondo ciò che abbiamo detto, dovranno essere come i numeri 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$: ec. In seguito, per maggior semplicità, supporremo che le corde non varino che in lunghezza.

E poichè i primi suoni della serie si distinguono immediatamente nel suono di una corda che si fa vibrar sola, è certo che saranno in questo numero ancora le seguenti; e se l'organo dell'udito non se ne accorge senza il soccorso di un intermedio, ciò è l'effetto dell'indebolimento dei medesimi: sul che osserveremo che in certi casi, con una sola corda, si giunge perfino a distinguere l'impressione del suono rappresentato da 7.

Il suono principale è stato chiamato *suono generatore*, e i suoni più deboli che l'accompagnano sono stati chiamati i suoi *armonici*.

520. Alcuni fisici hanno creduto che la corda principale si suddividesse in parti aliquote, simili a quelle che rappresentavano le lunghezze delle altre corde, in modo che il suono che proveniva da ciascuna di queste, fosse prodotto, come unisono, dalla parte aliquota che le corrispondeva nella corda principale. Ma nè l'osservazione nè il calcolo indicano questa suddivisione della corda generatrice; e tutto ciò che può concludersi dalle esperienze citate si è, che le vibrazioni di una corda sonora hanno la proprietà di eccitare nell'aria non solamente vibrazioni dello stesso ordine, ma altre vibrazioni di diversi ordini più elevati, analoghe a quelle che verrebbero prodotte dagli armonici, se ognuno di questi suoni venisse prodotto da una corda distinta.

521. Può credersi ancora che facendo l'esperienza sopra una sola corda, la risuonanza degli armonici provenga dai corpi circonvicini, che hanno le proprie fibre all'unisono con esse, per esempio da quelle del legno stesso sul quale è tesa la corda, e con le quali si suppone che la corda comunichi: sicchè questa comincerebbe ad operare sulle fibre suddette, e queste fibre medesime produrrebbero nell'aria le vibrazioni analoghe alla risuonanza degli armonici Ma noi abbiam fatto l'esperienza all'aria aperta, e in maniera tale che i punti di attacco non avevano alcuna elasticità sensibile, e abbiamo sentita nondimeno la risuonanza dei primi armonici; dal che bisogna concludere, che la corda

ha per se stessa la proprietà di eccitare nell'aria le vibrazioni che li producono, e che appunto queste vibrazioni son quelle che fanno fremere e risuonare i corpi circonvicini.

522. Dalla descrizione dei fatti precedenti si comprende la ragione per cui, quando qualcuno canta in un luogo in cui esistono alcuni corpi capaci di produrre un suono assai distinto, come vasi di vetro o di metallo, ognuno di questi corpi risuona quando la voce fa sentire l'unisono del corpo stesso, oppure quando produce un suono che sta a quello cui produrrebbe il corpo stesso se fosse percosso, come il suono generatore sta all'ottava della sua quinta, o alla doppia ottava della sua terza. Appariscono chiarissimi questi diversi effetti, quando si emette un suono con la voce, appressando la bocca all'apertura di un bicchiere ordinario. La più distinta risuonanza è quella dell'unisono; e vengono citati alcuni cantori, dotati di una voce giusta e nel tempo stesso fortissima, i quali prendendo in questo modo l'unisono di un bicchiere, giungevano fino a romperlo. Il cambiamento di figura che in tal caso provano i diversi anelli che compongono il bicchiere è tale, che le parti non avendo la flessibilità necessaria per cedere prontamente, si separano in differenti punti come se il bicchiere fosse stato fortemente percosso.

ESPERIENZA DI TARTINI.

523. Quanto abbiamo detto fin qui ci conduce a parlare di un'altra esperienza, conosciuta sotto il nome di *Esperienza di Tartini*, la quale consiste nel far sentire contemporaneamente due suoni forti, giusti e sostenuti; e dal concorso di questi due resulta un terzo suono più debole, e il quale, secondo questo celebre professore, è tale che se si rappresenta il rapporto fra i due primi suoni con i numeri più semplici, il suono prodotto sarà rappresentato da 2: e se quei due suoni sono espressi, per esempio, dai numeri 8 e 9, nel qual caso l'accordo di essi darà una dissonanza simile a quella che resulta dai suoni *do* e *re*, il suono prodotto essendo 2, corrisponderà alla doppia ottava alta del *do* della dissonanza.

In generale basterà soltanto trasportare all'ottava uno o tutti e due i suoni dell'accordo, perchè essi sieno compresi nella serie delle armoniche, il terzo suono delle quali sarebbe il suono fondamentale; e questo può servire a collegare questa esperienza con quella della triplice risuonanza di una corda vibrante, della quale questa presenta in certo modo il caso inverso.

524. Citeremo una terza esperienza curiosissima, che si trova indicata nel Wallis, e che caduta in dimenticanza, fu nuovamente osservata da Sauveur, il quale passò poi per esserne l inventore.

Se si tende una corda sopra un piano, e per mezzo d'un ostacolo leggiero che mediocremente lo stringa, si divida in due parti diseguali ma commensurabili fra loro, pizzicando successivamente queste due parti, esse tramanderanno un medesimo suono, diverso però da quello della corda intera: e questo suono sarà tale, che se si rappresenta coi più semplici numeri il rapporto fra le lunghezze delle due parti della corda, il suono che esse tramanderanno sarà quello d'una corda che fosse espressa dall' unità. Supponendo per esempio che la corda sia divisa in due parti che stiano fra loro come 3 a 2, nel qual caso i suoni corrispondenti sarebbero nel rapporto di *do* a *sol* dell' ottava alta, se le risuonanze sieno determinate dalle lunghezze delle due porzioni, il suono tramandato da ciascuna porzione sarà quello della corda 1, cioè il *sol* dell'ottava acuta del suono che proverrebbe dalla porzione minore nel caso ordinario. Questi suoni che resultano da questa divisione di una corda vibrante, sono stati chiamati *suoni armonici*.

Se si osserva attentamente la stessa corda mentre è in stato di vibrazione, si vede che ciascuna porzione si suddivide in tante porzioni eguali, quante unità contiene il numero che le corrisponde, di modo che fra due suddivisioni vicine, v'è un punto di riposo o un nodo, e nel mezzo della stessa suddivisione l'ondulazione forma una specie di pancia, come una corda che vibra tutta intera. Nell'esempio precedente la porzione maggiore si suddivide in tre, e la minore in due; sicchè il suono *sol* è prodotto contemporaneamente da tutte le suddivisioni che si trovano così all'unisono l'una dell'altra. È chiaro che la porzione minore non deve suddividersi, quando il suono che le è analogo ha esso pure per espressione l' unità; e in tal caso la porzione minore tramanda appunto questo suono, al pari di ciascuna suddivisione della porzione maggiore.

Tale è dunque il meccanismo da cui dipende la serie degli unisoni dati da questa esperienza, che il leggiero ostacolo il quale divide la corda, impedisce soltanto le vibrazioni totali, ma lascia sussistere una comunicazione e una dipendenza scambievole fra le due porzioni, le vibrazioni delle quali, appunto per questo motivo, tendono ad accor-

darsi perfettamente fra loro, cioè a divenire isocróne; e in conseguenza esse son costrette a suddividersi, lo che eseguiscono meno che sia possibile, sicchè il numero delle suddivisioni è sempre il minore fra tutti quelli che produrrebbero egualmente l'isocronismo.

Così nell'esempio precedente se la corda 2 facesse vibrazioni totali, i due terzi della corda 3 potrebbero pure divenire unisoni con essa, ma resterebbe un terzo che farebbe le sue vibrazioni separatamente; e appunto questo terzo essendo solo capace di produrre l'isocronismo, serve di regola a tutto il resto.

525. Sauveur rendeva visibile la distinzione dei nodi e delle pance, mettendo a cavallo della corda, nel punto di ciascun nodo un pezzetto di carta bianca, e un altro di carta colorata nel punto di ciascuna pancia, e appena la corda entrava in vibrazione, si vedevano cadere tutti i pezzi di carta colorata, restando i bianchi nel proprio posto. Questa esperienza riesce bene con una corda da violino, che tesa sopra un piano, venga divisa con un ponticello di cartone, e si faccia vibrare, strisciando leggermente l'arco in vicinanza del ponticello di legno, sul quale è posata l'una o l'altra estremità della medesima corda.

RIFLESSIONI SULLA SCALA DIATONICA DEI MODERNI.

526. La prima fra le esperienze che abbiamo citate, o quella che consiste nella triplice risuonanza d'una corda vibrante, ci suggerisce alcune riflessioni sulla formazione della nostra scala diatonica, composta dei suoni *do*, *re*, *mi*, *fa*, ec., che ognuno conosce.

Se si indica sempre con l'unità il primo suono *do*, la serie degli otto suoni sarà espressa da quella dei seguenti numeri:

$$1,\ \frac{9}{8},\ \frac{5}{4},\ \frac{4}{3},\ \frac{3}{2},\ \frac{15}{9},\ \frac{25}{8},\ 2$$

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*;

cioè se si facessero vibrare tali corde, che con la propria lunghezza potessero dare i numeri di vibrazioni, che corrispondono ai termini della serie precedente, ne verrebbe una serie di suoni che rappresenterebbe la nostra scala, quale ciascuno l'ha per così dire nell'orecchio, e l'eseguisce col canto. Questa scala è antichissima, e risalendo fino ai secoli della Grecia, quando il gusto per l'arte era tanto delicato, si trova che i due tetracordi che formavano la scala musicale di quel tempo, avevano i suoni nello stesso rapporto di quelli della nostra.

Si osservi intanto che la divisione dei suoni in queste due scale è soggetta al più semplice principio nei rapporti da cui nasce; e questo

principio sembra essere stato la guida segreta di cui l'orecchio ha seguite le indicazioni. Per ben concepirlo osserviamo, che prendendo i suoni che danno due, tre, quattro e cinque vibrazioni per ognuna del suono fondamentale, avremo successivamente l'ottava di questo suono, quindi l'ottava della sua quinta, in seguito la sua doppia ottava, e finalmente la doppia ottava della sua terza, cioè avremo l'armonia dei suoni, che soli risuonano in modo da sentirsi quando si fa vibrare una corda separata. Ma l'ottava, la quinta e la terza, sono le consonanze più perfette, e tutta la nostra scala diatonica si aggira su queste consonanze. In fatti abbiamo in primo luogo in questa scala l'accordo *do*, *mi*, *sol*, che deriva immediatamente dalla triplice risuonanza del corpo sonoro, se non che il *sol* e il *mi* sono in questo caso trasportati l'uno all'ottava e l'altro alla doppia ottava sotto l'armonica corrispondente, lo che è sempre permesso a motivo della gran rassomiglianza fra un suono e la sua ottava. Trasportiamo ora il *fa* e il *la* della scala all'ottava bassa: se uniamo a questi due suoni il *do* fondamentale, avremo un nuovo accordo *fa*, *la*, *do*, perfettamente simile all'accordo *do*, *mi*, *sol*. Finalmente se trasportiamo il *re* all'ottava alta, e uniamo ad esso i suoni *sol* e *si*, avremo un terzo accordo *sol*, *si*, *re*, che rappresenta egualmente con esattezza l'accordo *do*, *mi*, *sol*. Ecco dunque tutti i suoni della scala distribuiti fra tre accordi composti di una terza e di una quinta, e talmente connessi fra loro, che il suono fondamentale di ciascuno è la quinta nel grave e nell'acuto di quello d'un'altra; sicchè partendo dal *fa* preso sotto il *do* fondamentale della scala, si ha la serie *fa*, *la*, *do*, *mi*, *sol*, *si*, *re*, che forma una concatenazione di terze e di quinte. La nostra scala dunque è limitata alle combinazioni che posson farsi coi suoni rappresentati dai primi cinque numeri naturali, esclusi tutti gli altri, sul che Leibnitz soleva dire che *l'orecchio conta solamente fino a cinque*.

527. Nondimeno alcuni hanno creduto esservi una scala preferibile alla precedente, la quale se venisse adottata, farebbe elevar la musica al suo vero punto di perfezione; e fondano questa opinione sull'osservazione seguente.

Se nella serie degli armonici prodotti dalle diverse corde, che risuonano accanto a una prima corda messa in vibrazione, si prendon quelli che corrispondono alle frazioni $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{11}$, ec., fino a $\frac{1}{16}$ inclusivamente, si avrà una serie di suoni simili alla scala ordinaria, se non che il *fa* e il *la* saranno un poco più alti che in questa scala; e di più l'armonico $\frac{1}{14}$ darà un suono di soprappiù fra il *sol* e il *la*.

I medesimi hanno creduto che questa ultima dovesse essere la vera scala, perchè deriva immediatamente dalla natura, e che se l'orec-

chio sembrava offeso dall'intnonazione dei suoni *fa* e *la*, quando questa scala era prodotta da uno strumento adattato a questo effetto, come il corno da caccia, era questa una conseguenza d'un pregiudizio di questo organo guastato dall'abitudine, del quale però esso si spoglierebbe, familiarizzandosi con l'altra scala, e lasciando operar la natura che presto rientrerebbe nei suoi diritti.

Intanto prevarrà la ragione che si deduce dalla semplicità degli accordi, se si considera che questa semplicità è collegata con la facilità di percepire gl'intervalli fra i suoni, la quale ha molta parte ad allettare l'orecchio; ed è questo il motivo per cui l'ottava è l'accordo che più generalmente piace, e per cui l'accordo perfetto composto della quinta e della terza trova un accesso sì facile in qualunque orecchio che non sia estraneo all'armonia. E in questo accordo appunto e in quello dell'ottava è riposta la base della nostra scala, ai quali accordi si è limitato l'uomo per una specie d'istinto, prima ancora di qualunqne studio sulle proprietà armoniche dei corpi sonori. Nè è già l'orecchio che fa il paragone dei numeri, poichè questa è un'operazione dello spirito; ma la semplicità di questi numeri dipende da un effetto fisico, cioè dalla frequenza con cui entrano le vibrazioni nei suoni comparati, il quale effetto sembra che trovi nell'organo stesso una disposizione, in virtù della quale meglio si adatta alle cose più semplici, perchè deve faticar meno per comprenderle.

L'arte, prendendo varii intermedii fra i suoni suggeriti dalla natura, ha sparso una gran varietà negli effetti dell'armonia e della melodia, e per mezzo dell'ingegnosa concatenazione delle dissonanze e delle consonanze, è giunta a convertire in piacere per l'orecchio ciò che sembrava più adattato a disgustarlo.

Rameau ha cercato di dedurre la legge dell'armonia dalla triplice risuonanza dei corpi sonori: Tartini ha creduto di averne trovata l'origine nella sua famosa esperienza da noi sopra citata; ma questi sistemi non danno che più o meno plausibili probabilità, e restano ancora varii fenomeni d'armonia conosciuti dall'orecchio, i quali con questi sistemi non possono spiegarsi.

DEL TEMPERAMENTO.

Quanto abbiamo detto fin qui, ci porta a dar un'idea di ciò che si chiama *temperamento*.

528. Dal principio con cui è stata formata la nostra scala, resulta, che il suono acuto di ciascuno dei tre accordi perfetti di cui è composta, fa una quinta precisa col suono fondamentale dell'accordo. Ma

se si paragonano due suoni presi in differenti accordi, cioè il *re* e il *la* che formano pure una quinta, si troverà in questo caso una leggiera alterazione nella giustezza di questo intervallo. Il rapporto infatti di questi due suoni è quello di $\frac{2}{3}$ a $\frac{5}{9}$, ossia 27 a 40, un poco maggiore di quello di 2 a 3 della quinta precisa. Perchè il *la* fosse col *re* nel rapporto di questa quinta, bisognerebbe che la sua espressione diventasse $\frac{27}{16}$. Diamogli per un momento quest'espressione, e prendiamo sopra il medesimo *la* un nuovo suono *mi*, che faccia pure una quinta precisa con esso; e si avrà l'espressione di questo *mi* moltiplicando $\frac{27}{16}$ per $\frac{3}{2}$, che è il rapporto della quinta, dal che resulta $\frac{81}{32}$. Se dunque non vi fosse alcuna alterazione negli intervalli, questo *mi* sarebbe all'ottava precisa di quello della scala andando dal grave all'acuto: ma non è così, perchè se alziamo di un'ottava questo ultimo *mi*, la sua espressione che era $\frac{5}{4}$, diventerà $\frac{10}{4}$ o $\frac{80}{32}$, minore di $\frac{81}{32}$ nel rapporto di 80 a 81. Quindi è che il *mi* espresso da $\frac{81}{32}$, non sarà neppur esso alla terza del *do* che è espresso da 2; e il rapporto fra questo *do* e il *mi*, ridotto alla sua maggior semplicità, è quello di 64 a 81, alquanto maggiore di quello di 1 a $\frac{5}{4}$ o di 64 a 80 che è quello fra il *do* e il *mi* della scala.

Senza entrare in altre particolarità, ci basti il dire in generale, che di questi 3 intervalli, ottava, quinta, e terza, non può conservarsene uno in tutta la sua purità, senza alterare gli altri due; e quindi ne viene una difficoltà che è stata da lungo tempo conosciuta, relativamente alla maniera di accordare gli strumenti a corda, nei quali ciascun tasto corrisponde ad un suono, di cui quest'operazione medesima determina il grado. Sono stati quindi immaginati alcuni metodi, per trovare in questo caso un *temperamento*, cioè per combinare le alterazioni in modo, che l'armonia non ne restasse notabilmente offesa; e in tutti questi metodi si osserva, che è indispensabile il conservare la giustezza delle ottave, trascurando piuttosto un poco quella delle quinte e delle terze, perchè l'ottava al pari dell'unisono è tanto piacevole all'orecchio per la sua gran semplicità, che l'orecchio stesso non può soffrire in questo accordo il minimo difetto di precisione; e non diventa meno rigoroso se non in riguardo degli intervalli meno semplici, e in questo caso supplisce a ciò che manca in essi col non valutare le differenze di cui non si accorge.

529. Rameau dopo essere stato molto indeciso sulla scelta del miglior temperamento, ha adottato finalmente quello in cui tutte le quinte si trovassero egualmente alterate, riflettendo che non vi era ragione per alterarne una piuttosto che un'altra; nel qual sistema è stato trovato che le terze diventavano dure ed urtanti; e quindi è stato generalmente

ammesso quel metodo, a cui Rameau stesso aveva data in principio la preferenza, e che in seguito ha abbandonato. Negli strumenti accordati con questo metodo, le quinte date dai tuoni naturali della scala conservano quasi interamente la propria armonia; e le maggiori differenze cadono sui semituoni intermedii. I musici hanno preso nella serie delle quinte alcune note, delle quali si servono per verificare di tanto in tanto le operazioni loro, paragonandole con la giustezza di qualche altro accordo, come con quello della terza, che ciascuna di queste note deve fare con una delle note già accordate. Di qui deriva una gran differenza nelle alterazioni provate dagli intervalli di quinta e di terza, che dividono la serie dei differenti suoni, differenza che è stata anzi riguardata come vantaggiosa. Infatti dallo scegliere tal suono a preferenza di un altro per nota tonica, cioè per quella alla quale si riportano tutte le altre, dimanierachè la modulazione è appoggiata per così dire su questa nota come base, le quinte e le terze che percorre il canto hanno un non so che di tetro che inspira la tristezza, o qualche cosa di esaltato che eccita la gioia. Così dalla sola maniera con cui sono stati alterati gli intervalli, la modulazione prende il suo carattere; e ciò che forse si sarebbe riguardato come un difetto, diventa per la musica un mezzo, per aggiunger qualche cosa all'espressione del sentimento che essa vuole indicare.

Teoria della Propagazione del Suono.

Ci resta ora da stabilire la teoria dei diversi fenomeni presentatici dall'esperienza, relativamente alla propagazione del suono, e a spiegare come il suono conserva una celerità uniforme dal corpo sonoro fino all'organo dell'udito, quantunque scemi di forza continuamente; come i suoni acuti e i suoni gravi, i forti e i deboli abbiano un'egual velocità; come finalmente differenti suoni prodotti nel tempo stesso si incrocino nell'aria senza confondersi, e giungano all'orecchio con tutta la purità dell'armonia.

Questa teoria si deduce dalla maniera con cui si forma il suono negli strumenti a fiato, e noi l'abbiamo presa da un eccellente memoria, nella quale Daniele Bernoulli l'ha sviluppata e sottoposta al calcolo (*a*); e qui non faremo che esporre con la maggior chiarezza possibile le idee di questo insigne Geometra.

530. Figuriamoci primieramente un tubo cilindrico chiuso ad un'estremità, e che si faccia suonare soffiando nell'orifizio aperto: l'aria contenuta in questo tubo si metterà in vibrazione, in modo che cia-

(*a*). *Memoires de l'Acad. Des Sciences.* 1762. p. 431. e seg.

scuno dei sottilissimi strati che compongono la colonna di questo fluido, si avvicinerà e si allontanerà a vicenda dal fondo, andando e ritornando da una parte e dall'altra della situazione che avea nello stato di riposo, per mezzo di piccoli moti oscillatorii, simili a quelli di un pendolo semplice. Le oscillazioni anderanno crescendo da uno strato all'altro, dal fondo ove esse saranno nulle, fino all'apertura dove saranno le maggiori. Quelle di ciascuno strato saranno isocrone, e quelle dei diversi strati saranno sincrone, cioè cominceranno e finiranno tutte nel tempo stesso, senza di che non potrebbero formare un suono.

Mentre i diversi strati avranno un moto progressivo verso il fondo, lo strato che era all'orifizio entrerà nel tubo, in cui condenserà lo strato vicino, e così di seguito, in modo che la condensazione anderà sempre crescendo fino al fondo ove sarà la massima, perchè resulterà dal concorso di tutte le azioni degli strati posteriori. Nel ritornare verso l'orifizio escirà al contrario dal tubo una piccola porzione dell'aria che vi era contenuta nello stato di riposo, e i diversi strati proveranno alcune piccole dilatazioni, che cominciando dal fondo anderanno sempre scemando; dal che si vede che l'aria situata all'orifizio non sarà nè condensata nè dilatata, ma conserverà la stessa densità dell'aria circostante.

531. Applichiamo ora questa ipotesi alle vibrazioni dell'aria in un tubo aperto da tutte e due le estremità. La sola idea che si accorda con le leggi della meccanica e con l'osservazione, consiste nel supporre col pensiero che il tubo sia diviso in due metà da un tramezzo, come se fosse composto di due tubi chiusi da un lato e uniti col loro fondo, e che in ciascuno di essi tutto accada come nell'ipotesi precedente. Ne resulta che lo strato di aria situato nel punto del tramezzo, o per meglio dire, che ne fa le veci, sarà immobile, e tutti gli altri strati faranno tante oscillazioni, le quali anderanno crescendo da una parte e dall'altra secondo l'esposta legge.

532. Resta a considerarsi il caso di un tubo chiuso alle due estremità, che non ha luogo in pratica, ma che è necessario per la teoria. Se si supponga che l'aria interna sia messa in vibrazione da una causa qualunque, potremo figurarci ciascuna metà come un tubo chiuso ad una sola estremità, e in cui le oscillazioni saranno le stesse che in quest' ultima specie di tubo, ma in modo però che esse accaderanno tutte dalla stessa parte da un'estremità all'altra; e così mentre gli strati chiusi in una metà si condenseranno in essa, avvicinandosi al fondo, gli strati dell'altra metà si dilateranno, andando per il medesimo verso dei primi, e la densità dello strato di mezzo sarà costante.

È chiaro che gli ultimi due casi non sono che conseguenze dell'ipotesi che abbiamo fatta relativamente al primo; e se questa ipotesi si

adatta come da se stessa ai diversi fatti che resultano dall'esperienza, non potremo ricusare di riguardarla come infinitamente probabile.

533. Si sa primieramente che un tubo aperto alle due estremità, emette il medesimo grado di suono che emetterebbe un tubo lungo la metà del primo, e chiuso a un'estremità solamente; ed è questa una conseguenza necessaria dei principii della teoria, perchè nel tubo aperto dalle due estremità vi è un riposo nel mezzo, e quindi le due metà sono all'unisono, e le oscillazioni dell'aria in ciascuna di esse sono perfettamente simili, tanto fra loro quanto a quelle che accadono nel tubo chiuso ad un'estremità.

534. In alcuni strumenti a fiato, come il corno da caccia o la tromba, nei quali le dita non hanno alcuna parte, la differenza dei tuoni dipende dalla maniera di dilatare o ristringere l'apertura delle labbra, secondo che vuol prodursi un suono più grave o più acuto. Il suonatore determina il grado di questa apertura dall'idea che ha del suono che vuol produrre, ma non tutti i suoni secondano la sua volontà, poichè lo strumento non gli obbedisce se non quanto lo permette la sua natura; e però se si rappresenta con 2 il suono *principale*, il suonatore non potrà far produrre allo strumento se non i suoni che corrispondono ai numeri 4, 6, 8, 10. ec.

535. Per spiegare adunque questo progresso determinato di suoni successivamente più acuti, basta considerar lo strumento come un tubo aperto alle due estremità Nel caso del suono fondamentale rappresentato da 2, il suonatore stringe talmente le sue labbra, che l'ordine di vibrazioni che ne resulta, si sviluppa in un'estensione eguale alla metà del tubo: in quel punto si forma un tramezzo di aria stazionaria, o un nodo, passato il quale le stesse vibrazioni riprincipiano in modo contrario.

Che se il suonatore ristringe le sue labbra a segno da produrre l'ottava alta del suono fondamentale, il nuovo ordine di vibrazioni relativo a questo suono non occuperà più che la metà dell'estensione del precedente; vi sarà un primo riposo al quarto del tubo, e un secondo ai tre quarti, sicchè la prima e l'ultima porzione rappresenteranno un tubo chiuso a una estremità, e la porzione intermedia un tubo chiuso alle due estremità, ma di una lunghezza doppia, e così il tutto equivarrà a quattro tubi chiusi ad una estremità, che saranno tutti all'unisono, e ciascuno dei quali emetterà un suono.

536. Nei suoni più elevati il tubo si dividerà successivamente in 6, 8, 10, ec porzioni eguali, che potranno paragonarsi ad altrettanti tubi chiusi ad una estremità: i tubi estremi saranno soli, e gli intermedii si imboccheranno a due a due per comporre tubi chiusi alle due estremità,

e doppii dei tubi estremi. Vi sarà dunque un nodo nel punto di ciascun tramezzo, e una pancia in mezzo alla distanza fra due tramezzi vicini; e le vibrazioni che principieranno in un medesimo nodo si faranno da una parte e dall'altra con moti contrarii, ma però dalla medesima parte dei due lati di una medesima pancia.

E in vano il suonatora tenterebbe di cavar dallo strumento qualche altro suono, il grado del quale non si trovasse sulla scala di questa legge; e se pure l'ottiene, non sarà che per mezzo di un artifizio particolare, il quale produrrà lo stesso effetto come se fosse cambiata la forma dello strumento, come quando il suonatore del corno da caccia mette la mano nell'estremità più larga di esso.

537. Una nuova esperienza che conferma la teoria, consiste nel fare in un tubo sonoro un foro laterale situato nel posto di un nodo; e quantunque si lasci aperto questo foro, il suono resterà lo stesso: ma se il foro è posto in qualunque altro punto, il grado del suono diverrà più alto, perchè quivi non essendo l'aria in riposo, se ne spargerà fuori una porzione per effetto delle vibrazioni, le quali provando minore ostacolo che quando il tubo non era forato, accelereranno il proprio moto. Ciò può servire a far comprendere in generale il principio a cui si riduce la costruzione dei flauti ed altri simili strumenti, dai quali si cavano diversi suoni col chiuder a piacere alcuni fori.

538. Le oscillazioni che eccita il suono nei tubi conici, differiscono in qualche maniera da quelle che accadono nei tubi cilindrici; poichè gli scuotimenti dell'aria dai quali esse dipendono, vanno sempre scemando fin dall'estremità superiore, sicchè le escursioni dei diversi strati sono esse pure sempre minori, e sono in ragione inversa della distanza dal principio dello strumento.

Ma questa differenza non altera nè la distanza fra le pance, che è la stessa dovunque, nè la durata delle vibrazioni che conservano egualmente dovunque il loro isocronismo.

539. Applichiamo ora questa teoria alla propagazione del suono. In ciascun raggio sonoro che, come abbiamo detto, è un cono d'aria infinitamente sottile, tutto accade come in un tubo conico in cui l'aria fa le sue vibrazioni, cioè vi sono successivamente nodi e punti, ai quali corrispondono le massime escursioni.

E poichè all'origine del cono vi è una pancia, e tutte le pance sono egualmente lontane, possiamo dividere col pensiero il cono intero in una serie di coni tronchi eguali in lunghezza, ciascuno dei quali avrà due pance alle sue basi, e un nodo situato verso il mezzo. Bernoulli chiama questi coni *concamerazioni*.

540. Nel momento in cui sarà messo in vibrazione un corpo, non

sarà scossa nel tempo stesso tutta l'aria in ciascuno dei coni che hanno il vertice nei diversi punti di questo corpo, ma sarà scossa soltanto nella prima concamerazione: quando questa avrà fatta una oscillazione, comincerà a scuotere l'aria della seconda concamerazione, e così in seguito si comunicheranno questi scuotimenti successivamente; dal che si vede perchè la propagazione del suono non è istantanea, ma richiede un certo tempo tanto maggiore quanto più cresce la distanza.

Le oscillazioni che accadono nelle diverse concamerazioni successive sono perfettamente isocrone, e di più tutte le concamerazioni sono eguali in lunghezza: dunque il suono deve percorrere con una celerità uniforme la serie di tutte queste concamerazioni, lo che è pure uno di quelli effetti che dovevamo spiegare.

Ma a misura che le concamerazioni si allontanano dal vertice, gli scuotimenti dell'aria che producono le piccole oscillazioni parziali, di cui è composta ciascuna oscillazione totale, vanno scemando, mentre sempre sussiste l'isocronismo: quindi è che a una maggior distanza l'organo sarà urtato più debolmente, e il suono sarà meno sentito, dimanierachè ad una certa distanza non più si sentirà.

541. O sia forte o debole il suono, la durata delle vibrazioni e la lunghezza delle concamerazioni resteranno sempre le stesse, perchè tanto l'una che l'altra sono determinate dal solo grado del suono, come facilmente si rileva dall'osservare che il tuono emesso da un tubo è lo stesso, qualunque sia la forza del fiato che mette l'aria in vibrazione, purchè resti la stessa l'apertura delle labbra.

542. Se si suppongono due suoni all'ottava l'uno dell'altro, che si facciano sentire successivamente o contemporaneamente, le concamerazioni relative al suono acuto saranno metà più corte di quelle che corrispondono al suono grave, e quindi saranno doppie di numero in un dato spazio; ma le oscillazioni dell'aria termineranno in questo in un tempo minore della metà; dal che segue che esse impiegheranno il medesimo tempo per propagarsi alla medesima distanza, e così il grado del suono non contribuisce nulla alla sua celerità, lo che concorda pure con l'osservazione.

DELLA MANIERA CON CUI PIU' SUONI PRODOTTI NEL TEMPO STESSO, SI PROPAGANO SENZA CONFONDERSI.

543. Quanto abbiamo detto fin ora riguarda i suoni solitarii: ma quando molti corpi sono vibrati nel tempo stesso, quando per esempio in un concerto molti strumenti e molte voci tramandano nel tempo stesso suoni di gradi diversi, in qual modo le diverse vibrazioni che ne

resultano, nel passare a traverso dell'aria, si incontrano senza distruggersi o sviarsi, ma anzi ognuna prosegue il suo cammino verso l'orecchio, come se il passaggio fosse liberissimo?

I fisici moderni hanno procurato di sciogliere questa difficoltà, adottando l'idea di Mairan, che supponeva l'aria composta di particelle di diversissime grossezze, ciascuna delle quali non era capace che di ricevere e di trasmettere le vibrazioni relative a un tuono particolare. Così quando molti suoni concorrevano nella stessa armonia o in qualunque altra maniera, ciascuno di essi non si dirigeva che a quelle particelle che erano all'unisono, ed esercitava sopra di esse un'azione indipendente da quella che soffrivano le molecole di diverso diametro. Ma senza ricorrere a questa supposizione gratuita, che per rischiarare un effetto oscuro si serve di un' oscurità d'un altro genere, e non allontana la difficoltà se non trasportandola in altra parte, nella teoria stessa che abbiamo esposto troviamo una maniera soddisfaciente di spiegare la distinzione dei suoni prodotti nel tempo stesso.

544. Questa spiegazione è appoggiata all'osservazione generale, che tutti i piccoli moti i quali hanno qualche punto di concorso, si soprappongono in certo modo l'uno sull'altro senza confondersi. Per rischiarar quest'idea, consideriamo due raggi sonori i quali si incontrino in due direzioni diverse: in tal caso il moto si comporrà nel piccolo spazio in cui si incroceranno, dimanierachè le piccole oscillazioni di un raggio, dando un leggiero impulso a quelle dell'altro raggio, produrranno in diagonale nuove oscillazioni nelle molecole situate nel punto di concorso. Supponiamo che un osservatore abbia l'occhio capace di distinguere i progressi delle oscillazioni, e che il suo occhio medesimo faccia alcuni piccoli moti oscillatorii, simili a quelli che avrebbero fatto le molecole di uno dei due raggi sul lato analogo del parallelogrammo, la diagonale del quale è descritta in virtù del moto reale. Questo occhio vedrà oscillare le molecole che seguono tal moto, come se fossero mosse nella direzione dell'altro lato del parallelogrammo, cioè l'occhio stesso avendo uno dei moti che si compongono nella diagonale, e supponendo distrutto tal moto relativamente ad esso, non riceverà che l'impressione dell'altro moto. Può dunque facilmente concludersi, che le molecole d'aria situate al di là del concorso dei due raggi, ai quali il moto che esiste solo per l'osservatore si sarebbe comunicato, se non vi fosse che il raggio sonoro diretto secondo questo moto, lo riceveranno nondimeno, poichè sono sulla direzione in cui le vibrazioni che si fanno sulla diagonale, devono nel decomporsi produrre questo stesso moto. Un simil raziocinio può applicarsi all'altro raggio sonoro; dal che si vede che le vibrazioni, dopo

essersi confuse in uno spazio quasi infinitesimo, devono quindi separarsi e prendere nuovamente la disposizione che avevano prima, come se non avessero avuto nulla di comune (*a*).

545. Con un meccanismo del medesimo genere, le piccole oscillazioni successive che si producono nell'acqua, in cui sieno state gettate varie pietre, passano l'una sull'altra senza confondersi, e producono tante circonferenze che si tagliano fra loro. Non accade però lo stesso nei grandi moti, nei quali le molecole situate nel punto di concorso, ricevendo forti impulsi in diverse direzioni, sono esse pure trasportate da un moto che le allontana totalmente dalle proprie direzioni primitive.

546. Tale è il termine al quale ci conduce la teoria: ma ciò che resta difficile a spiegarsi, è quella specie di rendevolezza che ha l'aria, per prendere in certo modo l'impronta dei diversi caratteri che può prendere un medesimo tuono, in ragione della diversità dei corpi che lo tramandano, e per modificarsi in tante maniere, portando all'orecchio i suoni teneri e dolci di uno strumento, i suoni forti e più energici di un altro, e gli accenti della voce umana che variano all'infinito. Non si sa cosa sia più da ammirarsi; o la natura del fluido che fa da messaggiero fedele ed esatto di questi suoni, fino alle minime particolarità, o quella dell'organo che distingue tutto con una finissima delicatezza di tatto, e comprende nelle sue fibre gli unisoni di tante particolari gradazioni.

(*a*) Per rischiarare maggiormente questa spiegazione, supponiamo che *a c*, *b c* (*fig.* 46.), rappresentino le direzioni del due raggi sonori che si incrociano nel punto *c*; e che *mc*, *hc* misurino le estensioni delle piccole oscillazioni che accadono in vicinanza di un punto di concorso. I moti dipendenti da queste oscillazioni si compongono nel medesimo punto, sicchè il moto unico che ne resulta, si trasporta sulle molecole situate immediatamente sotto c, e vi produce altre oscillazioni nella direzione della diagonale *c r* d'un piccolo parallelogrammo *c n r s*, determinato dalle linee *cn*, *cs*, situate sui prolungamenti delle linee *h c*, *m c*, ed eguali a queste ultime. Intanto le oscillazioni in diagonale si sciolgono nel punto *r* in due moti, i quali producono un effetto tale, che le molecole situate sulle linee *rt*, *ru*, parallele una a *b c* e l'altra ad *ac*, son incitate esse pure a fare qualche piccola oscillazione eguale alle prime, e nella direzione delle medesime linee *rt*, *ru*. Ma essendo infinitesimo lo spazio in cui si eseguiscono tutti questi moti, le linee *rt*, *ru* sono visibilmente sulle stesse direzioni di *bc* e *ac*; sicchè le oscillazioni che accadono sulla direzione di queste ultime linee, si suppone che nel prolungarsi si propaghino al di là del punto *c* di concorso. Così le resultanti di tutti i piccoli moti decomposti, posson considerarsi come linee infinitesime o semplici punti, i quali non fanno che trasmettere questi moti senza alterarne la direzione.

547. Le vibrazioni eccitate in una lastra di materia elastica, per mezzo d'un arco strisciato sugli orli di essa in modo da cavarne un suono piacevole, son capaci di produrre effetti curiosissimi, che possono per così dire moltiplicarsi all'infinito, variando le circostanze dalle quali essi dipendono, e che fra poco indicheremo. La corda che nell'esperienza di Sauveur tramanda i suoni armonici, si suddivide in ondulazioni distinte fra loro per mezzo di nodi o punti di riposo. In una superficie vibrante, i limiti fra le ondulazioni sono indicati da certe linee di riposo che si chiamano *linee nodali*. Un poco di polvere sparsa uniformemente sopra una di queste superficie, presenta lo stesso fenomeno del pezzetto di carta posto a cavallo della corda nell'esperienza di Sauveur; poichè mentre si striscia l'arco, i grani di questa polvere che corrispondono a una linea nodale, restano in equilibrio, e quelli che cuoprono le parti intermedie, obbligati dal moto vibratorio ad abbandonare le proprie situazioni, saltellando vanno a fissarsi sulle medesime linee, dal che resultano figure più o meno composte, e spesso perfettamente simmetriche. Sembra che in tal modo la Geometria presti il suo linguaggio ai suoni, onde parlino all'occhio nel tempo stesso in cui parlano all'orecchio.

Chladni ha studiata la fisica dei corpi sonori con tanta penetrazione e con tanta costanza, che può riguardarsi come lo scuopritore di tutti quei fatti egualmente nuovi e importanti, la descrizione dei quali forma la maggior parte della sua opera, pubblicata col titolo di Acustica. Fra i tanti che egli ha descritti, o che sono stati osservati da altri, noi abbiamo scelti quelli che possono più generalmente importare (*a*).

(*a*) Per la stessa ragione ci limiteremo a dare un'idea succinta di un altro genere di ricerche fatte da Chladni stesso, per determinare le diverse specie di vibrazioni prodotte dalla confricazione in una verga metallica, o di qualunque altra materia che sia alquanto scabra. Alcune che l'autore chiama *trasversali*, si osservano quando si striscia una verga in una direzione perpendicolare alla lunghezza, le quali si riferiscono a quelle prodotte da una corda sonora pizzicata: altre vibrazioni chiamate *longitudinali* producono alcune contrazioni e dilatazioni successive, nella direzione della lunghezza della verga, analoghe a quelle dell'aria contenuta in un tubo: le ultime che si chiamano *vibrazioni giranti*, dipendono, secondo Chladni, da una specie di moto oscillatorio delle parti della verga intorno al suo asse longitudinale. Le verghe sulle quali si opera possono essere fisse, o semplicemente appoggiate per le loro estremità, o fisse per una parte e appoggiate dall'altra, o libere da ambedue; dal che resulta una gran diversità nella maniera con cui si suddividono, formando

Abbiamo ripetuto attentamente le esperienze che li producono, e non abbiamo tralasciato nulla affinchè le figure che siamo per indicare, presentino altrettante copie fedeli dei disegni formati dalla disposizione simmetrica delle linee nodali.

Circostanze generali da cui dipendono i fenomeni.

In queste esperienze le lastre si fissano per un punto della loro superficie, che si stringe fra il pollice e un altro dito, o per due punti presi sui loro orli da due opposti lati, e a ciascuno dei quali si applica un dito; e in alcuni casi questi punti fissi sono situati negli angoli della lastra vibrante. Tali differenti punti, che chiameremo *punti d' appoggio*, saranno indicati dalla lettera *a*, e chiameremo *f* il punto strisciato dall' arco, e in cui risiede l' origine delle vibrazioni.

Il suono fondamentale cioè il più grave che possa emettere una lastra, avrà per espressione *do* : i suoni dell' ottava, della doppia ottava, della tripla ottava, ec. di questo ultimo, saranno indicati da *do*, *do*, *do*, ec., e ciascuna delle altre note sarà indicata dal nome che essa porta nella scala, con sopra le cifre 1, 2, 3, ec., secondo che essa apparterrà all'ottava di *do*, *do*, *do*, ec. Così *sol* indicherà la quinta maggiore di *do*, *mi*, la sua dodicesima maggiore, o la terza maggiore di *do*, ec.

548. Le lastre possono esser di vetro o di qualunque materia metallica come di rame o ottone: ma prima di servirsene bisogna ritondare gli orli, affinchè non danneggino l'arco. La polvere che serve a render visibili le linee nodali, può essere di sabbia fine o limatura d' oro; e qualunque sia, deve spargersi in una maniera uniforme sulla superficie superiore della lastra che si mette in vibrazione.

549 Le varie parti in cui si divide la superficie vibrante, e alle quali servon di perimetro le linee nodali, ora son simili ed eguali fra loro, ora differiscono in grandezza e in figura; ma nell' uno e nell' altro caso, essendo isocrone tutte le vibrazioni che esse producono in un tempo stesso, si confondono mettendosi all' unisono. La durata di queste vibrazioni, o il numero loro in un dato tempo, il qual numero chiameremo *rapporto di vibrazioni*, dipende principalmente dalla figura della la-

alternativamente e pance e nodi, e una diversità ancora nei suoni prodotti dalle suddivisioni di esse. Una minuta esposizione di tutti questi fatti potrà vedersi nell' opera di Chladni p. 90. e seg.

stra, dalla situazione dei punti di appoggio, cioè di quelli per cui è fermata la lastra, e da quella del punto a cui viene applicato l'arco. Ma un'altra circostanza notabilissima che molto contribuisce alla produzione degli effetti si è, che a eguaglianza di circostanze, basta far variare il grado di pressione e di velocità dell'arco, per cambiare il rapporto di vibrazione, e dar luogo a un'altra suddivisione della superficie vibrante, e a un nuovo assortimento di linee nodali. Quindi ne viene che nel tempo di uno stesso moto dell'arco, si sentono spesso due o tre suoni che si succedono; qualche volta si sentono due di questi suoni nel tempo stesso, e quando questo strisciare di arco produce un suono in tutta la sua purità, si manifesta l'effetto al quale corrisponde questo suono.

La risuonanza multipla di una corda vibrante differisce da quella di cui parliamo, in quanto che non può prodursi separatamente veruno dei suoni che essa comprende, per mezzo di una suddivisione della corda analoga al grado di questo suono.

550. Quando è resultato uno di questi effetti, si osserva sempre che il punto in cui si preme la lastra vibrante, appartiene a una linea nodale o al suo prolungamento. Anzi senza alterare l'effetto, si possono muovere le dita, facendole passare da una parte o dall'altra su questa linea nodale, fino ad un certo punto, al di là del quale il suono cambia ad un tratto, e cambia egualmente l'effetto corrispondente. Il punto d'appoggio propriamente detto è come il centro dello spazio nel quale può cambiare la situazione delle dita; il qual punto è sempre situato in una delle intersezioni delle linee nodali, quando molte di queste linee si intersecano. Tenendo sempre la lastra vibrante per il medesimo punto, si può ancora far variare, dentro certi limiti, la situazione dell'arco, senza che venga a cambiare l'effetto. Indicheremo in seguito alcune osservazioni che renderanno facile il ritrovare il punto centrale, nel quale risiede l'origine delle vibrazioni, quando non è dato dalla figura medesima.

Nei disegni prodotti dalla disposizione simmetrica della polvere, sparsa sulla superficie vibrante, ora si veggono certe combinazioni della linea retta con la linea curva, ora combinazioni di linee curve soltanto; e fra queste alcune sono rientranti, ed altre si riducono ad archi sottesi dagli orli della superficie vibrante. Se si faccia variare le situazione del punto di appoggio, e se invece di lasciarla sopra una linea nodale se ne allontani a poco a poco, trasportandola sopra una parte che era in vibrazione, restando sempre l'arco nel medesimo punto, vi è qualche caso in cui la figura del disegno cambia senza che cambi il rapporto di vibrazioni e il suono che ne deriva; e qualche volta ancora il disegno si trasforma in un altro, in modo che è veramente singolare il loro contrasto. Le linee nodali che compongono alcuni disegni, intercettano sulla superficie della

lastra uno spazio ordinariamente situato verso il centro, che sembra esente da vibrazioni; e la polvere che occupa questo spazio vi resta immobile, senza prendere alcuna disposizione regolare.

Se dopo aver prodotto un disegno sulla lastra vibrante, si tocchi con uno dei diti liberi la superficie inferiore di essa, in qualche punto che non appartenga a questo disegno, e si ripeta lo stesso moto dell'arco, potrà accadere che questo moto produca nuove linee nodali, che formeranno come tante parti accessorie relativamente al primo disegno, oppure che a questo venga a sostituirsi un disegno totalmente nuovo; e in tutti e due i casi si troverà cambiato il rapporto di vibrazioni e il suono.

Il contatto del dito libero trattiene le vibrazioni che avrebbero luogo senza di esso nella parte toccata, sicchè diventa esso come un nuovo punto d'appoggio, che appartiene a una delle linee nodali che esso produce.

Possiamo servirci di tal contatto, quando vogliamo produrre a preferenza un tal disegno fra quelli che sembrano disposti a nascere in virtù d'uno stesso moto dell'arco, nel tempo in cui vengon prodotti più suoni; e in tal caso basta far corrispondere il contatto a qualche punto d'una linea nodale, che appartenga esclusivamente a questo disegno.

551. Quanto più composti sono i disegni formati dalle linee nodali, tanto più cresce il numero delle suddivisioni della superficie vibrante, dal che nasce un acceleramento nelle vibrazioni, e quindi nascono suoni più acuti. Quindi è che servendosi di lastre di maggior estensione, si ottengono effetti più variati e più carichi di linee nodali, che con lastre di minore estensione: in fatti perchè nasca un disegno sopra una superficie vibrante, bisogna che le vibrazioni eccitate in essa, non oltrepassino il termine in cui diverrebbero tanto frequenti, che il corpo cesserebbe di far sentire suoni distinti. Ma quando la lastra è più estesa, trovandosi abbassato il grado del suono generatore, gli altri suoni hanno una maggior latitudine da percorrere, per giungere al punto in cui termina la scala dei suoni sensibili, dimanierachè questa lastra è capace di produrre effetti che non potrebbero aversi da una lastra più stretta, perchè le sue parti non avrebbero il tratto necessario per produrre i moti vibratorii

552. È stato osservato che uno stesso disegno è più o meno preciso, e che il suono da cui è accompagnato è più o meno melodioso e permanente, secondo che il punto d'appoggio e il punto strisciato si avvicinano o si allontanano dalle proprie situazioni centrali, alle quali corrisponde il massimo grado di simmetria e di risuonanza Nondimeno vi son certi suoni che conservano un non so che di duro, talchè sembra che le vi-

brazioni che li producono sieno impedite, ed essi cessano appena che si allontana l'arco dall'orlo della lastra. Le lastre metalliche tramandano molti suoni dolcissimi, e che si avvicinano a quelli dell'armonica.

553. Le lastre di vetro acquistano dal ripetuto sfregamento dell'arco una specie d'elettricismo, per cui, appena si presenta un disegno, se si lasci cadere sulla superficie vibrante un corpo leggiero, come un pelo di penna, e quindi si appressi ad essa l'estremità d'un dito, sarà attratto da questo, e vi resterà attaccato.

Fra le diverse figure che posson darsi alle lastre destinate all'esperienza, ci limiteremo a sceglierne due, cioè il quadrato e il circolo.

Esperienze con lastre quadrate (*a*).

Come il grado di pressione e di celerità dell'arco, contribuisce a far variare i resultamenti.

Essendo il punto d'appoggio nel centro *a* (*fig.* 47) della lastra, e il punto confricato in *f*, vicino a uno degli angoli, si possono ottenere tre resultamenti diversi, ai quali corrispondano i suoni *do*, *mi*, *fa*, che si sentono uno dopo l'altro, ma l'ultimo più di rado.

Se nel momento in cui il suono fondamentale *do* risuona solo, si faccia passar l'arco a più riprese sul punto *f*, conducendolo adagio adagio, e moderandone la pressione, si vede la polvere disporsi in maniera, che mentre restano immobili i grani che erano situati sopra linee condotte dal centro nel mezzo dei lati, quelli che erano sulle parti intermedie si ritirano, alcuni verso quelle linee medesime, altri verso il centro, formando intorno agli spazii che lasciano voti quattro curve voltate con la parte concava verso gli angoli della lastra. Ripetendo i moti dell'arco, la polvere si condensa presso le linee perpendicolari ai lati, e le curve si ripiegano, avvicinandosi col vertice al centro, sicchè in fine restano separate soltanto da un piccolissimo spazio quasi eguale al centro (*b*),

(*a*) La lastra di cui ci siamo serviti per la maggior parte delle nostre esperienze era di vetro comune da finestre, di quasi un decimetro o 4 pollici di lato. Avvertiremo quando ci siamo serviti di lastre di diversa materia e di diverse dimensioni.

(*b*) La *figura* 47 rappresenta, fra ciascun angolo della lastra come *n*, e il centro, le varie inflessioni *sir*, *γp*, *δu* d'una stessa curva, che corrispondono

Astraendo da queste separazioni, l'assortimento presenta l'aspetto di due rette che si tagliano ad angolo retto, e dividono la superficie della lastra in quattro quadrati eguali.

554. Se si sente il suono *mi* solo, si vedono apparire tre linee nodali situate diagonalmente, che prendono un'inflessione quale si osserva nella *figura* 48, ma che però sono spesso un poco confuse. Con più sicurezza può determinarsi la loro formazione, toccando con un dito libero la superficie superiore della lastra, in qualcuno dei punti che corrispondono alla linea nodale *ng*; e ancor più certo resulterà l'effetto, e con disegno più staccato, se si ponga l'appoggio nel punto *a'* (*fig.* 49), situato alla metà della distanza fra il centro *a* e il lato *gh*: intanto l'arco può restare in *f*, o meglio ancora può esser trasportato in *f'* alla metà del lato *hn*. Le linee nodali cambiano di situazione e di curvatura, come si vede nella figura, ma il suono resta lo stesso.

Quando il disegno comparisce puro e distinto, essendo il punto confricato in *f'* in mezzo di *hn*, si osserva che le linee *ko*, *yx* si allontanano dal parallelismo coi lati *gh*, *en*, sicchè le estremità loro superiori *k*, *y*, essendo in mezzo della distanza fra il centro e i lati stessi, le estremità inferiori *o*, *x* sono lontane dagli angoli *h*, *n*, di una quantità eguale almeno a $\frac{1}{9}$ del lato *hn*.

555. L'effetto che accompagna il terzo suono *fa*, è rappresentato dalla *figura* 50, e differisce da quello che si osserva nella *figura* 47, per l'aggiunta delle linee nodali $\delta\nu$, $\pi\mu$, ec. (*fig.* 50), che spesso sono inclinate, ed hanno le distanze $h\delta$, μn dagli angoli, eguali al quarto dell'orlo della lastra. Spesso ancora in vece di quattro archi riuniti intorno al centro, come nella *fig.* 47, ve ne sono due soltanto, voltati l'uno verso l'altro per la parte convessa, come è rappresentato nella *fig.* 50.

Potrà ottenersi lo stesso effetto, prendendo due punti d'appoggio in *a'*, *a''*, in mezzo dei due lati opposti, e lasciando sempre l'arco in *f*; nel qual caso non più si sentono i suoni *do*, *mi*, ma un nuovo elemento, cioè *la* interviene col *fa* nella risuonanza della lastra vibrante. Si avrà il primo suono, toccando la lastra con un dito libero sotto il cen-

a più moti successivi dell'arco. Spessissimo non vi sono che due o tre vertici di curve ben distinti; ma moltiplicando l'esperienze, si giunge a ottenere un disegno simmetrico.

tro *a*, a una piccola distanza dall'orlo *fn*, e variando un poco la situazione del dito. Appena si sentirà il *la*, la polvere si disporrà in forma di due archi *ala'*, *a l' a'* (*fig.* 51), voltati uno verso l'altro dalla parte concava, e che si riuniscono nei punti d'appoggio. La distanza fra i loro vertici *l*, *l'*, e i lati *ge*, *fn* è eguale a $\frac{1}{3}$ in circa di ciascuno di essi.

Possono ancora farsi provare a questi archi alcune variazioni, di cui sembra importante la cognizione. Per osservarle si prende un sol punto d'appoggio in *a* (*fig.* 52), a una piccola distanza dall'orlo della lastra, e si ripetono le confricazioni sul punto *f*: si veggono allora le estremità dei due archi avvicinarsi al centro in modo, che quelle le quali erano a contatto con l'orlo *gh*, vanno a situarsi nel punto d'appoggio; si ritondano quindi, connettendosi l'una con l'altra, mentre all'opposto i vertici *l*, *l'* si avvicinano agli orli *ge*, *hn*; e in questo caso il disegno presenta l'aspetto d'una curva rientrante. Si prosegue ad allontanare a poco a poco il punto d'appoggio dall'orlo *gh*; e la curva cede a questo allontanamento, ristringendosi insensibilmente nella direzione del diametro parallelo a *ge*, e allungandosi in conseguenza nella direzione di quello che è parallelo a *gh*; e quando le variazioni sono arrivate ai loro limiti, i due archi sono di nuovo nel caso della *figura* 51, con la sola differenza, che la linea la quale può considerarsi come corda loro comune, è situata per un verso contrario a quello indicato da questa figura, cioè i punti nei quali si riuniscono con le loro estremità, corrispondono ai punti di mezzo dei lati *ge*, *hn*. Sembra abbastanza chiaro, che nel tempo di queste variazioni resta costante lo spazio che essi circoscrivono, il quale conserva lo stesso rapporto di estensione con la superficie intera della lastra, poichè il suono non è notabilmente alterato. Questo suono però è sempre alquanto aspro, e il disegno a cui esso corrisponde non è molto distinto.

Se in vece di prendere il punto confricato in *f* (*fig.* 47) vicino a uno degli angoli, si trasporti nel mezzo *s* d'uno degli orli, mentre il punto d'appoggio è sempre nel mezzo *a* della superficie vibrante, si sente risuonare il *fa*^{diesis}, quarta superflua del generatore, a cui si unisce il suono *mi*, il quale però è sempre debole in modo, che non si può con l'esperienza produrre l'effetto che corrisponde a questo suono. Il disegno che resulta e che accompagna il suono *fa*^{diesis}, è come l'inverso di quello della *figura* 47, cioè in quello le diagonali rappresentano altrettante linee condotte dal centro perpendicolari ai lati, e in questo le curve son voltate per la parte loro concava verso questi lati medesimi (*fig.* 53): del resto esso si forma nello stesso modo, e prescindendo da certe

piccole separazioni fra le parti situate intorno a un piccolo spazio centrale, l'effetto finale si presenta sotto l'aspetto di due diagonali che si tagliano nel centro stesso.

Ma poichè questo spazio è alquanto coperto dalle estremità delle dita a contatto con la lastra, si può far l'esperienza in altro modo, per lasciarlo scoperto, cioè tenendo la lastra fra tre dita applicate a tre angoli *g*, *e*, *h*, lo che equivale al primo contatto, perchè le linee nodali passano per questi angoli. In tal caso non più si sente il suono *mi*, ma si sente in vece un suono acutissimo *sol*, il quale di più si sente qualche volta solo, premendo l'arco molto fortemente; e allora il disegno è composto nel tempo stesso delle quattro curve rappresentate dalla *figura* 53, e di quattro archi addizionali δμπη, τογδ, ec. (*fig.* 54), sottesi dagli orli della lastra vibrante. Facilmente si riducono questi archi accessorii a formare un seguito del disegno della *figura* 53, lo che può ottenersi spargendo una nuova quantità di polvere sugli spazii che corrispondono ai quattro archi δμπη, τογδ, ec. (*fig.* 54): quindi ripetendo i colpi d'arco, si va tastando con l'estremità d'un dito libero la parte della superficie inferiore della lastra, che corrisponde a uno degli spazii suddetti, e appena il contatto si combina con uno dei punti capaci di perdere il proprio moto vibratorio, si vedon subito nascere gli archi addizionali, come per adornare le parti del quadro che prima erano vote. Se si ritira il dito, un altro colpo d'arco farà nascer di nuovo il suono *fa*^{diesis}, e sparire questi archi, dimanierachè la polvere che aveva servito a formarli, sarà gettata dal moto vibratorio nei punti già occupati dalle linee situate in diagonale.

556. Per ottenere al primo colpo un disegno completo, basta lasciar subito scoperta la superficie della lastra, e toccarla con un dito libero nella parte inferiore, passando l'arco sul punto *s* (*fig.* 53), finchè non si senta solo il suono *sol*: allora, tenendo nella stessa situazione il dito libero, si sparga nuova polvere sulla superficie della lastra, e di nuovo si strisci l'arco; e nel disegno che così ne resulta, le linee situate in diagonale formano ordinariamente due curve distinte, soprapposte coi vertici.

Digitized by Google

Variazioni nei resultamenti nonostante che i suoni restino gli stessi.

Abbiamo osservato altra volta che le linee nodali possono cambiar di figura, senza che ne segua per questo veruna alterazione nei rapporti di vibrazione e nei suoni corrispondenti: anzi ordinariamente accade che queste linee cambiano d'inclinazione, quando si ripete più volte di seguito la stessa esperienza; ma la maggior parte di queste variazioni non modificano che leggermente la somiglianza fra i disegni che vanno soggetti ad esse, dimanierachè l'occhio ravvisa sempre in quelli l'impronta d'un medesimo conio. Quelle che ora passiamo a descrivere sono ancor più singolari, in quanto che per mezzo di un certo contrasto fanno meglio spiccare i disegni ai quali si riferiscono. Queste sono di due generi diversi, le une agiscono gradatamente in proporzione dello slontanamento dal punto d'appoggio, sicchè gli estremi effetti son collegati da una serie di gradazioni intermedie; le altre determinano un passaggio improvviso fra un disegno e l'altro, che con la sua figura si allontana totalmente dal primo. Daremo un esempio soltanto di ciascun genere.

557. Se il punto d'appoggio è in *a* (*fig.* 55), in modo che *a h* sia quasi eguale al quarto della diagonale *eh*, e se l'arco è in *f* in faccia ad *a*, si vede apparire la linea nodale delineata come nella figura, e accompagnata dal suono *do*.

Che se in questo stato di cose si faccia a poco a poco avvicinare il punto d'appoggio al lato *hn*, parallelamente ad esso, e si ripetano i colpi d'arco in *f*, si vedrà la linea nodale inclinarsi, e quindi le sue diverse parti avvicinarsi al parallelismo coi lati *ge*, *hn*, dimanierachè a un certo punto essa si troverà divisa in tre linee tortuose (*fig.* 56), e separate fra loro nei punti γ γ', i quali saranno distanti dagli angoli *g*, *n* quasi un terzo dei lati *gh*, *en*.

Proseguendo il moto del punto d'appoggio, sempre per il medesimo verso, le tre porzioni di curva si addirizzeranno a poco a poco; e quando la distanza fra il punto d'appoggio *a* e il lato *hn* sarà circa $\frac{1}{6}$ di questo lato, esse si dirigeranno sopra tre linee parallele al medesimo orlo (*fig.* 57) (*a*). Intanto queste linee sono quasi sempre alquanto inclinate, e di rado possono ottenersi assolutamente rette quali si veggono nella figura.

(*a*) Per meglio riescire in quest' ultima parte dell' esperienza, bisogna pizzicare la lastra con le dita in modo da scemare, per quanto è possibile, le superficie di contatto.

Da ciò si rileva qual via dovrebbe tenersi per avere effetti inversi andando dalla linea retta alla linea curva.

È facile ottenere immediatamente il disegno della *figura* 56, prendendo due punti d'appoggio γ γ' che, come abbiam detto di sopra, devon esser distanti dagli angoli *g*, *u* circa un terzo del lato della lastra, sempre però lasciando l'arco in *f*.

558. Si può avere un esempio del secondo genere, dando al punto d'appoggio e al punto strisciato tali situazioni, che sieno poco dissimili da quelle da cui nasce il disegno della *figura* 55; e a questo fine basta prendere il punto d'appoggio un poco più vicino all'angolo *h*, restando sulla diagonale che passa per questo angolo. Il suono è due ottave e un mezzo tuono più acuto di quello che corrisponde a questo disegno, e il disegno che apparisce è quello della *figura* 58. Se si principia di nuovo l'esperienza variando solamente il punto d'appoggio, ponendolo cioè più vicino al lato *hg*, e a egual distanza fra gli orli *ge*, *hn*, si avrà il disegno della *figura* 59; e giudicando da ciò che si vede, non si poteva supporre che i due disegni, i quali messi a confronto presentano l'immagine di una dissonanza, dovessero confondersi in un medesimo unisono. Se si ripete di nuovo l'esperienza, cominciando dall'ottener il resultamento della *figura* 59, quindi trasportando il punto d'appoggio da *a* in *a'*, senza alterare le linee nodali, finchè dura il moto dell'arco, che sarà bene ritardare, si potrà tener dietro con l'occhio agli effetti delle forze repulsive, in virtù delle quali i grani di polvere slontanati dalle loro prime situazioni, anderanno a occupar quelle che corrispondono all'assortimento rappresentato dalla *figura* 58. Paragonando le due figure, si può, per mezzo della corrispondenza delle lettere concepire l'azione delle parti componenti il disegno della *figura* 59 nel passare a quello della *figura* 58. I punti Ψ, *o*, *t*, *b*, (*fig.* 59) sono i soli che restano fissi: la linea curva $\delta\varepsilon$ si inclina in modo, che diventa l'arco distinto $\delta\varepsilon$ (*fig.* 58); la linea angolare terminata dai punti Ψ, *r* (*fig.* 59) si divide in tre parti Ψu, *uk*, *kr*; la prima delle quali diventa la porzione $\Psi\gamma u$ (*fig* 58) della linea angolare compresa fra i punti Ψ, *b*; la seconda che ora indicheremo con *o'z* (*fig* 59), poichè si suppone che i punti *u*, *o'* da una parte, e *k*, *z* dall'altra si confondano, si stacca per formare il ramo *oz* della curva *zom* (*fig.* 58); la terza parte *kr* (*fig.* 59) si dirige diagonalmente, e produce la linea segnata con le stesse lettere (*fig.* 58). Seguendo del pari le altre indicazioni, si comprenderà che il secondo ramo *om* della curva *zom* proviene dalla parte inferiore *om* (*fig.* 59) della linea angolare terminata dai punti *m*, *e*, la qual porzione restando fissa col punto *o*, si inclina per un verso opposto all'altra porzione *oz* (*fig.* 58), e così del resto.

559. Nell'esempio precedente le tre linee curve $e\gamma$, $\delta\gamma$, δh (*fig.* 55) comprese fra i lati *gh*, *en*, e che possono riguardarsi come le parti componenti il disegno, restano intere nel passare al resultamento rappresentato dalla *figura* 57; i grani di polvere che ne sono come gli elementi, si conservano uniti, e non fanno che disporsi in un modo conforme alla tendenza che hanno le linee a diventar parallele. Ma nel caso presente il disegno è decomposto in un certo numero di parti, gli elementi delle quali si riuniscono in un ordine che non ha nulla di comune col primo.

V'è pure un'altra differenza fra questi due resultamenti, cioè nel primo il passaggio da un estremo all'altro si fa per mezzo di gradazioni intermedie a proporzione che il punto d'appoggio si va avvicinando al lato *hn*; mentre nel secondo i successivi cambiamenti di posto del punto d'appoggio nello spazio compreso fra *a* e *a'*, o non producono verun effetto, o fanno nascere un disegno diverso che accompagna un altro suono: per esempio può accadere che le dita giunte in vicinanza del punto d'appoggio *a'*, incontrino quello che si riferisce al disegno della *figura* 55 (*a*). La trasformazione del primo disegno in quello della *figura* 58 corrisponde a un secondo termine in cui essa apparisce non per gradazioni ma a un tratto.

Nel terminar questo articolo osserveremo, che in tutti i casi in cui il suono è costante, mentre il disegno varia in qualunque siasi modo, la situazione dell'arco resta pure la stessa, sicchè è sempre quella del punto d'appoggio che è cambiato.

Disposizione dei punti d' appoggio e dei punti confricati.

Abbiamo già avvertito che al punto d'appoggio il quale era concorso alla formazion del disegno, si poteva far cambiare di posto, muovendolo fino a un certo punto sopra una linea nodale, senza che per questo venisse alterato l'effetto; poichè fra le varie situazioni che può prendere questo punto, ve n'è una che deve riguardarsi come il limite, al di qua e al di là del quale le altre variano, il qual limite è facile a riconoscersi, perchè esso si trova in un punto in cui si intersecano molte linee nodali, supposte prolungate se bisogna; ed è questa una particolarità propria esclusivamente di una tal situazione del punto d'appoggio. Ciò è chiaro relativamente ai punti d'appoggio situati in *a* (*fig.* 47 e 50),

(*a*) V' è un altro punto situato un poco per parte andando verso *en*, il quale dà un disegno particolare, che accompagna un suono il quale è un semi-tuono più basso del *re*, il qual disegno è rappresentato dalla *fig.* 60.

o in *a*, *a'* (*fig.* 50 e 51): ma per il disegno della *figura* 48, il punto d'appoggio *a* non si trova nell'intersezione di due linee nodali, poichè la natura del disegno non è tale da produrre intersezione di linee, ma bensì nel mezzo di una di esse, ed è forse questa la ragione per cui il disegno apparisce ordinariamente poco distinto. Solamente quando il punto d'appoggio è stato trasportato in *a'* (*fig.* 49), le linee nodali formano un disegno staccato, e in tal caso la comune intersezione di quelle passa ancor essa per il punto d'appoggio. Rischiariamo tutto questo con un altro esempio.

560. Supponiamo che preso un punto d'appoggio in *a'* (*fig.* 61), distante da *gh* o da qualunque altro lato un quarto di questo lato, si faccia passar l'arco sul punto *f* situato sotto *a'*, un poco verso *gh*: in questo caso si vedrà comparire il disegno rappresentato dalla *fig.* 61, e che è composto di tre curve, ognuna delle quali ha un ramo nella direzione della diagonale, e l'altro parallelo a uno dei lati, e inoltre di due linee rette *tu*, *tp*, in situazioni analoghe alle precedenti.

Si otterrà lo stesso effetto trasportando il punto d'appoggio in qualunque altro punto *s* della linea *ko* (*a*) che ne occupi circa la metà; ma il suono che corrisponderà a questi diversi effetti terminerà col moto dell'arco. Se al contrario si fissa il punto d'appoggio nel centro *a* della lastra, in cui le linee nodali situate diagonalmente tendono a tagliarsi, il ritorno del medesimo effetto sarà accompagnato da un suono più melodioso, il quale non si sentirà che per un momento, lo che sembra indicare che il punto d'appoggio è arrivato al suo centro.

561. Ancora l'arco può variare di situazione per una certa estensione, senza che l'effetto cessi d'esser costante; e fra queste variazioni ancora v'è un punto d'origine di tutte le vibrazioni, per scorgere il quale spesso basta guardare soltanto il disegno: così nelle *figure* 53 e 54 si vede chiaramente che questo punto è precisamente nel mezzo di *hn*; mentre nella *fig.* 61 questa situazione non si vede indicata con egual precisione, nè se si prenda in *f*, come abbiamo fatto, nè in *f'* del lato opposto. In questo ultimo caso non è certo che essa sia ad egual distanza fra le estremità dei due bracci della curva irregolare *cyn*, poichè se ciò potesse supporsi, bisognerebbe che questi bracci della curva fossero simili, e incontrassero il lato *hn* ad angoli eguali.

(*a*) In una nuova esperienza abbiamo trovato, che per continuare ad ottenere lo stesso effetto, bisogna trasportar l'appoggio in qualche altro punto della linea *ma*, più vicino al centro; e appunto quando arriva al centro, la durata del suono è massima.

In simili casi, si giungerebbe forse a fissare la situazione del punto suddetto combinando due disegni diversi, e facendo alcune osservazioni analoghe a quelle che ora siamo per fare.

562. Supponiamo d'aver ottenuto il disegno della *figura* 49, prendendo il punto *a'* al quarto della distanza fra i lati *gh*, *eu*, e ponendo l'arco nel mezzo *f'* del lato *hu*, che è il caso in cui il disegno apparisce più distinto ed esatto. In tal caso se si trasporta l'arco all'estremità *o* della linea nodale *mko*, il suono si abbasserà d'un'ottava precisa, e si vedrà comparire il disegno della *figura* 61. Si potrà osservare ancora, che può ottenersi lo stesso effetto, prendendo la situazione dell'arco a destra o a sinistra del punto *o* (*fig.* 49), dimanierachè questo punto sembri essere in mezzo dello spazio che può percorrere l'arco, senza che venga cambiato l'effetto. Ma la distanza di questo punto dall'angolo *h* è o esattamente o quasi esattamente eguale ai $\frac{2}{9}$ del lato *hu*. come abbiamo detto di sopra, lo che indicava, relativamente al disegno della *figura* 61, la situazione del punto d'origine delle vibrazioni.

Basti un solo esempio, il quale deve anzi riguardarsi come un saggio d'osservazioni che bisognerebbe moltiplicare, come pure converrebbe tener dietro all'andamento di esse, per assicurarsi quanto possono esser vantaggiose, relativamente allo scopo proposto. Questo esempio che siamo per dare è tanto più importante, quanto che ci fa rilevare una correlazione fra i disegni delle *figure* 49 e 61.

Per meglio comprenderlo, principiamo dal far nascere il secondo disegno: prendendo quindi il punto *a'* (*fig.* 49) e il punto *f'*, come abbiamo indicato di sopra, muoviamo l'arco lentamente: fin che dura questo moto, le linee *mk*, *tu* (*fig.* 61) restano fisse, le linee *cy*, *t'r* spariscono, le altre linee *ko*, *yx*, *t'z*, *pl* si dirigono parallelamente agli orli della lastra (*fig.* 49), mentre *tz* si unisce a *tu*, e *lp* a *yx* per mezzo d'un'inflessione.

Il passaggio da un disegno ad un altro è in questo caso più semplice e più diretto di quello fra i disegni delle *figure* 58 e 59: intanto questo ultimo non porta veruna alterazione sul grado del suono, mentre nell'altro i suoni son differenti, dando però l'ottava, la quale dopo l'unisono è la più perfetta consonanza.

Il disegno della *figura* 61 non è simmetrico; e perchè fosse tale bisognerebbe che fosse simile a quello della *figura* 62 formato da quattro curve, che hanno tutte lo stesso rapporto di situazione con la superficie vibrante; ma a noi non è mai riuscito d'ottener questo suono.

Digitized by Google

In qual modo i nuovi contatti contribuiscano a far variare gli effetti.

Abbiamo già veduto che il contatto d'un dito libero può servire per facilitare la produzione d'un effetto; ma vi sono alcuni casi in cui ciò diventa una condizione necessaria per produrre un effetto, al che non basterebbe la sola superficie vibrante lasciata a se stessa. Di questo caso ancora daremo un esempio.

563. Supponiamo che si sia fatto nascere il disegno della *figura* 61, prendendo il punto d'appoggio nel centro *a*, e posando l'arco sul punto *f*, come pure abbiamo detto di sopra. Se il punto d'appoggio scende in seguito a poco a poco lungo la linea *ko*, il disegno resterà lo stesso fino a un certo punto, in cui si vedrà comparire quello della *fig.* 55, il quale pure sussisterà, finchè il punto d'appoggio proseguirà a muoversi, fino ad un altro termine sulla linea *ko*. Ora, se finchè dura questo moto si tocchi l'angolo *g* con un dito libero, in vece del suono *do* che si era principiato a sentire, si sentirà a un tratto il suono *mi*, e comparirà di nuovo il disegno della *figura* 61, non però tanto distinto quanto la prima volta. Si potranno pure far succedere i due suoni l'uno all'altro, servendosi della lunghezza dell'arco, e forse potrà accadere che per un momento si sentano contemporaneamente i due suoni, che formeranno una terza minore esattissima. Così dopo l'apparizione del disegno della *figura* 55, la lastra vibrante conservava tuttora una disposizione a riprodurre il disegno precedente, ma per produrlo realmente aveva bisogno di un contatto addizionale, il quale rinnovasse l'impressione d'una delle linee nodali relative a questo disegno.

564. Termineremo ciò che riguarda gli effetti delle vibrazioni eccitate nelle lastre quadre, con indicare il disegno rappresentato dalla *figura* 63, il quale ci è sembrato curioso per i tratti variati delle linee nodali di cui è composto, e per la conformità che nasce dalla disposizione simmetrica di esse, fra le due metà della lastra separate dalla diagonale che va da *h* in *e* (*a*). Le situazioni dei punti d'appoggio *a*, *a* son le stesse che per i disegni della *figura* 56, cioè le distanze loro dagli angoli più vicini sono eguali al terzo del lato del quadrato: ma il punto *f* dove si applica l'arco si avvicina più al mezzo di *ne*, e la sua distanza dal-

(*a*) L'esperienza da cui resulta questo effetto, è stata trovata dalla signora Vuillemot nipote dell'Autore.

l'angolo *n* ci è sembrata quasi eguale ai $\frac{2}{5}$ della linea stessa; e il suono che ne resulta è *mi* (*b*). Con una lastra di ottone di circa 135 milimetri o 5 pollici di lato abbiamo ottenuto lo stesso effetto.

Esperienze con lastre circolari.

Caso in cui il punto di appoggio è situato nel centro della superficie vibrante.

La situazione del punto di appoggio in una lastra circolare, può variare come sopra una lastra di figura quadrata, e in limiti ancora più estesi, senza che il suono venga cambiato. Per ora la supponiamo nel centro, perchè questo punto è nel tempo stesso il mezzo dello spazio che essa può percorrere per tutti i versi, relativamente ad un medesimo effetto; ed è altresì quello che dà le vibrazioni meno pronte a propagarsi quando l'arco è stato ritirato.

565. Se si striscia a più riprese un punto qualunque della circonferenza, accaderà che certe piccole differenze nel grado di pressione e di celerità dell'arco, faranno sentire alcuni suoni uno dopo l'altro, o ancora contemporaneamente, e si otterranno altresì effetti più variati, trasportando l'arco successivamente in diversi punti della circonferenza, i quali non possono avere a tutto rigore le stesse fisiche disposizioni, quantunque si riguardino come egualmente distanti dal centro.

566. I disegni ai quali corrispondono questi diversi suoni, sono composti in generale di linee rette situate sulle direzioni di altrettanti raggi, e collegate a due a due con tanti archi, col vertice voltato verso il centro. Il numero di queste linee cresce in proporzione che il suono diviene più acuto, e nel tempo stesso queste linee diventano più corte, e gli archi si abbassano verso la circonferenza. Una semplice occhiata che si dia alle *figure* 64, 65, ec. ci darà un'idea di questa disposizione delle linee nodali. Lo spazio situato intorno al centro e terminato dalle convessità degli archi, resta immobile e coperto di polvere.

Il diametro delle lastre di cui ci siam serviti nelle nostre esperienze di questo genere, era di circa 108 millimetri o 4 pollici: alcune erano di vetro comune, e altre di ottone, grosse circa $\frac{2}{5}$ di millimetro o $\frac{3}{10}$ di linea. Questo metallo tramanda suoni più dolci e più facili a distinguer-

(*b*) Questo suono è spesso accompagnato da un altro che si fa sentire sordamente, e che corrisponde al disegno della *fig.* 55. Solamente a forza di tentativi si giunge a ottener isolato quello che è il soggetto della esperienza.

si. Abbiamo fatto uso altresì di una lastra di circa 162 millimetri o 6 pollici di diametro.

567. In ciascun disegno la circonferenza si trova suddivisa in un certo numero di parti eguali, da linee situate sulla direzione dei raggi; e gli effetti che abbiamo ottenuti hanno prodotte le diverse suddivisioni di 360 in numeri pari da 4 sino a 20 inclusivamente; e si anderebbe ancora più oltre con lastre di maggior diametro. I suoni corrispondenti sono stati successivamente $\overset{1}{do}$ per 4 suddivisioni, $\overset{2}{re}$ per 6, $\overset{3}{do}$ per 8, $\overset{3}{fa}$ per 10 (*a*) $\overset{4}{do}$ per 12 (*b*), $\overset{4}{sol}$ per 14, $\overset{5}{do}$ per 16; e i suoni relativi ai due ultimi effetti erano tanto acuti, che non potemmo distinguerli esattamente. Con un'analogia che indicheremo fra poco, si avrebbe $\overset{5}{mi}$ per 18 divisioni, e $\overset{5}{sol}^{diesis}$ per 20.

568. Poichè da ciascun punto della periferia nascono per così dire indifferentemente or gli uni or gli altri rapporti di vibrazioni, i suoni che ne derivano sono talmente passeggieri, che convien fare moltissimi tentativi per ottenere un poco distinto un suono voluto. Si può giungere più presto all'intento, riflettendo che in ciascun disegno del genere degl'indicati, l'angolo che formano fra loro due linee nodali vicine, è uguale alla circonferenza divisa per il numero totale di queste linee; e che il mezzo di ciascuno di questi archi è uno di quei punti che possono scegliersi per farvi passar l'arco. Ciò premesso, mentre si tiene fra due dita la lastra per il suo centro, si mette un dito libero a contatto con un punto preso a piacere sulla lastra, vicino alla circonferenza: da questo contatto dipende la formazione di una linea nodale, che coincide col diametro condotto per il suddetto punto, dopo di che è facile rilevar la distanza a cui deve porsi l'arco. Che se si voglia far nascere una stella a sei raggi, situati in forma di esagono regolare, basta porre l'arco a 30° del medesimo diametro; e lo stesso si dica degli altri disegni.

In queste esperienze, come in molte di quelle che abbiamo citate di sopra, l'arco può percorrere un certo spazio da una parte e dall'altra del punto a cui corrisponde la vera origine delle vibrazioni; ma in questo moto esso incontra spessissimo nel suo cammino un altro punto, in cui eccita un principio di vibrazioni corrispondente ad un altro disegno, e da cui deriva un suono diverso, che può ottenersi strisciando l'arco con una certa destrezza; e in questo genere come in molti altri, la facilità di un buon esito dipende molto dall'abitudine.

(*a*) $\overset{3}{Sol}$ per 10, con la gran lastra di rame.

(*b*) $\overset{4}{Re}$ esatto per 12, con la stessa lastra.

Caso in cui il punto d' appoggio è situato necessariamente fuori del centro.

569. Negli effetti precedentemente considerati, il centro è stato riguardato come il limite intorno al quale può variare la situazione del punto d'appoggio, per uno stesso rapporto di vibrazioni. Ma questo limite non si estende che fino a una certa distanza dal centro, al di là della quale i cambiamenti di situazione del punto stesso danno origine a un nuovo ordine di fenomeni. Paragonando fra loro i disegni che ne resultano, si vede che non presentano più lo stesso carattere di uniformità; e la parte non vibrante della superficie, la quale, come abbiam veduto va sempre crescendo a misura che scende verso la circonferenza il punto di appoggio, il quale può liberamente sostituirsi a quello che si confonde col centro, divien nulla ad un tratto, sicchè l'intera superficie è mobile.

570. Questa differenza può farsi rilevare col far nascere ancora uno dei nuovi fenomeni. E primieramente preso sul centro il punto di appoggio, si fa scendere progressivamente lungo un raggio, e nel tempo stesso si striscia l'arco sul punto della circonferenza in cui termina questo raggio stesso. Con questo ripetuto strisciare si fanno nascere successivamente diversi suoni, ognuno dei quali corrisponde a uno degli effetti precedentemente descritti, e che a una piccola distanza dalla circonferenza divengono acutissimi. Vi è un punto in cui essi sono accompagnati da un altro suono che freme sordamente, espresso da *sol*; e quando l'appoggio, avanzandosi sempre, è arrivato ad un punto in cui questo suono si fa sentir solo e in tutta la sua forza, sempre però alquanto duro, si vede comparire sulla superficie vibrante (*fig.* 71) la circonferenza di un circolo perfetto, concentrico a quello di questa superficie, e che passa per il punto suddetto. La distanza di questo punto dalla circonferenza della lastra vibrante è circa $\frac{1}{7}$ del diametro. La sua situazione non può variare nè di qua nè di là da questa distanza, e quella del punto strisciato è fissa all'estremità del raggio che termina al medesimo punto.

571. Il punto d'appoggio proseguendo a scendere verso la circonferenza, giunge a un altro termine che è distante da questa circa $\frac{1}{9}$ del diametro, e se nel caso stesso si trasporta l'arco o ad un punto f distante 90° da questo termine, o in qualcuno dei punti intermedii come f', f'', fino verso i 45°, si otterrà il disegno rappresentato dalla *figura* 72, composto d'una linea nodale situata in parte parallelamente alla circonfe-

renza, e in parte nella direzione del diametro; e l'espressione del suono corrispondente è *sib*. Si può ottenere lo stesso, stringendo la lastra fra due dita poste in *a'*, *a''* alle estremità d' uno stesso diametro, e ponendo l'arco in *f*, distante 90° dai punti medesimi.

Da questo disegno si passerà nuovamente al precedente, rendendo al punto d'appoggio la situazione da cui dipende questo ultimo, e situando di nuovo l' arco all'estremità del medesimo raggio: in tal caso la linea diametrale sparisce, e la parte circolare si avvicina notabilmente alla circonferenza.

572. L'effetto indicato dalla *figura* 72 può ancora servire a render sensibile l' immobilità della parte media della superficie vibrante, nelle esperienze relative ai disegni rappresentati dalle *figure* 64, 65, ec. A tal effetto basta primieramente trasportare il punto d' appoggio vicino al centro un poco più del punto *a* (*fig.* 70), lasciandolo sulla linea diametrale *dd'* (*fig.*72), e quindi facendolo inoltrare progressivamente verso il centro, strisciando l' arco su diversi punti della circonferenza. Appena ottenuto un disegno qualunque, si vedrà che una porzione della linea diametrale compresa nello spazio esente da vibrazioni, sussisterà sempre, restando come estranea ai fenomeni (29).

Facendo uso di lastre di maggiori dimensioni, si possono moltiplicare e ingrandire questi fatti attestati dall' esperienza; ma in qualunque caso però i disegni che si ottengono possono sempre modificarsi, mentre resta pur sempre lo stesso e il rapporto di vibrazione e il suono che ne è la conseguenza.

(29) In vece della polvere che Chladni spargeva su queste lastre, il dotto fisico inglese Wheatston si servì d' acqua con cui le spruzzò; e facendo quindi vibrare con l' arco la lastra di vetro, le molecole liquide formavano subito una distintissima superficie reticolata; e il numero dei centri cresceva visibilmente quando il suono diveniva più acuto; mentre al contrario scemava l' ampiezza delle oscillazioni.

Il medesimo fisico osservò pure la stessa cosa in un' altra graziosa esperienza. Posti in un vaso tre liquidi incapaci di mescolarsi fra loro, come mercurio, acqua e olio, e quindi facendo vibrare il vaso, scorgeva figure analoghe alle precedenti su tutte e tre le superficie dei liquidi contenuti in esso.

Dunque oltre le vibrazioni osservate da Chladni in un corpo sonoro, vi sono molte oscillazioni che lo sperimentatore inglese chiama *molecolari*; e quindi più facilmente si comprende la sonorità d' un corpo.

Il Professore Oersted aveva già provato molto tempo prima, che queste oscillazioni molecolari scoperte da Wheatston per mezzo dell' acqua sparsa sulle lastre, si scorgevano anco servendosi di polvere di licopodio in vece della sabbia di Chladni, la quale è molto grossolana in paragone di questa polvere. *Annal. de Chim. et Phys.* T. XXIII, p. 313.

Anzi, poichè può sempre variarsi a piacere la forma delle lastre, fecondissimo diventa questo genere di esperienze. Noi abbiamo ristrette le nostre considerazioni soltanto a due limiti, cioè alle lastre di figura rettilinea e a quelle di figura curvilinea; nel che abbiamo avuto in mira non tanto di moltiplicare i fatti, quanto di coordinarli, e di formarne un sistema adattato a mostrare i rapporti scambievoli che hanno fra loro alcuni di essi, fissar l'attenzione su certe considerazioni utilissime nella spiegazione dei fatti, insomma far rilevare quanto è delicato questo soggetto, e quanto difficile il distrigare il complesso di tanti fenomeni diversi, assoggettandoli a una teoria che li faccia tutti derivare da uno stesso principio.

573. Chladni ha cercato di indicare quale strada dovrebbe tenersi per giungere a questa teoria. Egli è dunque di parere, che prima di tutto bisognerebbe determinare con formule generali le leggi delle vibrazioni giranti di una verga cilindrica o prismatica, cioè di quelle che son prodotte da piccoli moti oscillatorii fatti da ciascuna molecola intorno all'asse (*a*); e la teoria di questi moti si potrebbe applicare a quelli di una lastra rettangolare, ai quali egli crede che possano rassomigliarsi. Infatti i rapporti dei suoni prodotti da una lastra di questa figura, in proporzione dello scemamento d'una delle sue dimensioni relativamente all'altra, si avvicinano sempre più ai rapporti relativi ai suoni tramandati da una verga che fa le sue vibrazioni giranti (*b*). Questa specie di verga darebbe in tal modo come l'effetto elementare, da cui si dovrebbe partire per spiegare gli effetti prodotti dalle lastre rettangolari, che andassero crescendo in larghezza (*c*), e quindi si estenderebbero gli stessi principii alle lastre di una forma diversa (*d*).

574. Chladni riguarda la linea retta come quella che dà la figura primitiva delle linee nodali, sicchè le curvature che spesso si osservano in queste, sono altrettante deviazioni o storcimenti della linea retta (*e*). Così nel descrivere quell'esperienza da cui resultarono i fatti rappresentati dalle *figure* 55, 56, 57, pone in primo luogo quello della *figura* 57 in cui il disegno è composto di tre linee rette parallele fra loro, e la curva che si osserva nel disegno della *figura* 55 deriva dagli storcimenti di queste linee. Frattanto nell'occasione di quella medesima esperienza osservammo, che quando si ottiene il suono della *figura* 55, il suono è più melodioso e più permanente, e che diventa tanto più secco e più

(*a*) Acustique, p. 131.
(*b*) *Ib.* p. 112, 139 e seg.
(*c*) *Ib.* p. 132.
(*d*) *Ib.* p. 134.
(*e*) *Ib.* p. 143.

duro, quanto più il disegno si avvicina alla figura rettilinea; dal che si potrebbe dedurre che l'effetto relativo a questo disegno fosse quello a cui corrisponde il vero centro d'azione delle forze, dalle quali dipende il moto vibratorio, poichè in questo caso appunto esse si esercitano con maggior libertà.

575. Chladni avendo cercato il numero delle linee nodali situate nella stessa direzione, sui diversi disegni che poteva produrre una superficie vibrante di una data figura, ha trovato che quando questi numeri seguivano il rapporto dei termini della serie naturale 2, 3, 4, 5, 6, ec., le radici quadre dei numeri di vibrazioni, da cui dipendevano i suoni che andavano uniti con questi disegni, erano esse pure quasi in progressione aritmetica. Un resultamento di questo genere che ci è sembrato notabilissimo, è quello che si osserva nelle esperienze fatte con una lastra circolare, nelle quali tutte le linee nodali sono altrettante porzioni di raggi collegati a due a due da alcune inflessioni, come si può riscontrare sulle *figure* 64, 65, ec. In tal caso i numeri di queste linee, o più semplicemente le loro metà, sono successivamente 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, la qual serie è simile a quella delle radici quadre dei numeri 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, che si avvicina molto all'altra serie 4, 9, 16, 24, 36, 48, 64, 80, 100. Ora i termini di questa sono in rapporto dei numeri di vibrazioni relative ai suoni *do*, *re*, *do*, *sol*, *re*, *sol*, *do*, *mi*, *sol*, *diesis* i quali si trovano quasi eguali a quelli che corrispondono successivamente ai disegni. Devono eccettuarsi gli ultimi due, i quali non si possono distinguere esattamente; e dall'altra parte noi con questa relazione intendiamo di indicare soltanto un semplice resultamento dell'osservazione, riserva che Chladni pure ha usata, citando fatti simili a questi.

576. Il Paradisi, famoso fisico italiano, ha intrapreso sul medesimo soggetto alcune ricerche, che sembrano dirette verso il vero punto di vista della teoria. Facendo vibrare una lastra rettangolare di vetro, per mezzo di leggieri colpi successivi di arco, ha scoperto che le linee nodali formavano primieramente certe curve, che secondo lui erano altrettanti semicircoli appoggiati sui lati del rettangolo, uno dei quali aveva il suo centro nel punto in cui era applicato l'arco. Proseguendo l'esperienza ha veduto i semicircoli cambiare gradatamente di figura, e per questi cambiamenti la curva di essi andava sempre diminuendo, terminando in fine in un assortimento di linee rette, una delle quali diretta parallelamente ai lati maggiori del rettangolo si divideva in due metà, e le altre erano parallele ai lati minori.

Il Paradisi chiama *centro di vibrazione* il centro dal circolo che si

forma intorno ad un punto di applicazione dell'arco, e *centri secondarii* quelli degli altri circoli: e con un'equazione differenziale, che non ha potuto integrare per mancanza dei dati necessarii per giungere all'integrazione, rappresenta le azioni che i centri degli altri circoli esercitano sull'elemento di un circolo qualunque.

La soluzione completa di questo problema, consisterebbe nel determinare il sistema di linee nodali che dovrebbe aver luogo, supponendo nota la figura della lastra vibrante, la situazione del punto di appoggio, quella del punto ove si applica l'arco, e il rapporto di vibrazioni indicato dal suono che vien tramandato; ma la scienza è ancora molto imperfetta per poter dare una soddisfacente soluzione di questo problema; e nello stato presente delle nostre cognizioni questi disegni non posson calcolarsi, a malgrado che la simmetria con cui essi si presentano ci lusinghi di poterli ad esso assoggettare. Si riducono essi fin qui a semplici resultamenti delle esperienze, ma però tanto maravigliosi in se stessi, che ancor quando fossero spiegati non cesserebbero di eccitare la maraviglia.

Le esperienze relative alle superficie vibranti non sono rimaste sterili per il progresso delle arti. Il Dottore Savart ha tratto ingegnosamente partito da quei corpi, il suono dei quali diviene per noi tanto più importante, quanto che parla nel tempo stesso all'occhio, per perfezionare la costruzione di quelli strumenti da cui provengono suoni tanto piacevoli, e che il suonatore può variare a suo talento, quali sono gli strumenti a corda; e il violino è stato scelto da Savart per farne il soggetto delle sue ricerche

577. Nei violini ordinarii i piani hanno una forma fatta a specie di volta e un poco ritorta: e questa costruzione oltre esser difettosa in se stessa, è difettosa ancora, perchè richiede che le fibre del legno sieno tagliate in diverse direzioni e a lunghezze variabili.

Quindi nelle vibrazioni comunicate alle diverse parti dello strumento resulta un'alterazione di simmetria, e una specie di dissomiglianza, che rende alquanto aspri i suoni prodotti da queste vibrazioni minute, asprezza che dipende ancora da una mancanza di uniformità e di connessione, quando i suoni si succedono in una stessa melodia.

578. Spariscono questi inconvenienti nel violino di Savart, costruito con tal semplicità che ne rende più omogenee le parti. Egli costruisce la cassa con tavolette piane, composte di due pezzi che egli prende da una medesima tavola fendendola e dividendola nella direzione delle sue fibre longitudinali; e questi pezzi vanno sempre assottigliandosi gradatamente, cominciando dal punto in cui viene eccitato lo scuotimento dal contatto

del ponticello. Queste tavolette hanno la figura di un trapezio, del quale il minor lato parallelo è situato in vicinanza del manico.

La linea retta si presenta di nuovo nelle aperture, le quali invece di esser curve nelle estremità come negli altri violini, rappresentano figure rettangolari che hanno i maggiori lati paralleli alle fibre legnose. Questa figura è meglio adattata agli usi di queste aperture, il principale dei quali è di stabilire una comunicazione fra l'aria contenuta nella cassa e l'aria esterna.

579. Savart, nell'imitare col violino l'operazione di Chladni, per rendere sensibili all'occhio i resultamenti del moto vibratorio, ha veduto quanto eran giuste le sue idee che lo dirigevano nella costruzione del suo violino. Dopo avere sparso sopra una delle tavolette un poco di sabbia fine, strisciando l'arco sull'orlo di essa, faceva risuonare una delle corde, e in conseguenza di questo vedeva lo strato di sabbia trasformarsi nell'istante in un sistema di linee nodali, che si disponevano simmetricamente intorno all'asse della tavoletta. In egual maniera ha messo in vibrazione le diverse parti dello strumento, e perfino le più piccole, col che ha fatto vedere con qual precisione tutte concorrevano all'effetto totale.

580. L'uso di un piccolo cilindro interposto fra le due tavolette, e a cui ha dato il nome di *anima*, fissò principalmente l'attenzione di Savart, il quale nell'esperienza soltanto ha cercato i lumi opportuni a questo proposito. Ha preso due lastre circolari di egual legno e di eguali dimensioni, le ha fissate per i loro centri alle due estremità di un'asta cilindrica di legno, quindi tenendo quest'asta verticalmente con due dita, ha cosperse le lastre di sabbia fine, ed ha strisciato l'arco sui lati di una di esse, in modo da ricavarne uno dei suoni che potevano derivarne; e subito ha visto presentarsi sopra ambedue lo stesso disegno. Questa esperienza modificata in varii modi da lui stesso, eseguita con lastre di dimensioni diverse, ha provato che la vera destinazione dell'*anima* non era già di sostenere la tavola superiore per impedirle di cedere alla pressione delle corde, ma di trasmettere le vibrazioni di essa alla tavola inferiore; e perchè questa trasmissione fosse concorde con le indicazioni dell'apparecchio che aveva servito di modello, Savart ha modificato la grossezza delle due tavolette in modo, che tramandassero esattamente il medesimo suono. Relativamente all'*anima*, le osservazioni da lui fatte sulla teoria e sull'esperienza, l'hanno indotto a porla in un punto in cui un nodo di vibrazione col quale essa si trovava in contatto, fosse tanto delicato da non opporsi alla trasmissione del moto vibratorio da una tavola all'altra, e ha creduto che questo punto

dovesse esser situato dietro al piede destro del ponticello, e un poco in fuori.

581. Le qualità che distinguono il violino di Savart, consistono nella dolcezza e nella purità dei suoni separatamente considerati, e nella uguaglianza loro che si sostiene dovunque andando dal grave all'acuto, quando si fanno sentire successivamente; sicchè l'orecchio non si accorge del passaggio dall'uno all'altro, se non per il cambiamento di grado. L'altro vantaggio che ha in se questo strumento si è, che la sua costruzione essendo fondata sopra regole fisse, e non avendo nulla di arbitrario, qualunque artefice può costruirne uno simile, il quale potrà essere quasi tanto perfetto, quanto se fosse costruito da un abilissimo fabbricatore di violini (*a*).

582. Aggiungeremo qui una considerazione relativa ad una differenza che è stata osservata da Savart, fra le esperienze fatte con lastre circolari di legno, e quelle fatte con lastre composte di una sostanza inorganica, come il vetro e l'ottone. Queste ultime sostanze avendo un tessuto uniforme ed omogeneo, il moto impresso dallo strisciare dell'arco sopra un punto qualunque della loro circonferenza, può far nascere indistintamente ora uno ora un altro sistema di linee nodali, sicchè resta spesso delusa l'espettazione dell'osservatore, che si proponeva di ottenere un disegno particolare, se almeno egli non abbia fissato anticipatamente con un mezzo che abbiamo indicato di sopra, la situazione di uno dei diametri che appartengono a questo disegno. Nelle lastre di legno al contrario, le fibre legnose avendo una direzione fissa, oppongono al moto vibratorio che tende a comunicarsi per il verso di questa direzione, una resistenza molto maggiore di quella che avrebbe luogo per ogni altro verso. Quindi è che appena si fa passar l'arco su qualunque punto della circonferenza, si vede comparire una linea nodale sulla fila delle fibre legnose, che passa per il centro, e per mezzo di questo dato naturale, l'osservatore può dare all'arco, se vuole, la situazione opportuna per far nascere il disegno che egli ha nell'idea.

(*a*) Per una spiegazione più chiara dei principii dell'autore e delle applicazioni che egli ne ha fatte, si veda la memoria che egli ha pubblicata sul medesimo argomento, e che ha ottenuto il voto dell'accademia Reale delle scienze. Paris, 1819. Stamp. da Deterville.

Digitized by Google

VI.

DELL' ELETTRICISMO.

583. L'ELETTRICISMO è uno di quei rami di Fisica, che sono stati più coltivati dai Fisici moderni. Questo non si conosceva sul principio del secolo passato, se non per le attrazioni e repulsioni del vetro, del succino o *ambra gialla* (*a*) (30), delle resine e di altre simili sostanze sopra i corpi leggeri, che si presentavano alla loro azione, e per una debole luce che la confricazione sprigionava da queste sostanze. Dopo trenta anni incirca Dufay, e Gray con le loro ricerche fissarono in questo genere una di quelle epoche feconde, in cui una scienza principia a svilupparsi con rapidissimi progressi, e in cui le scoperte sembrano succedersi direi quasi in folla ed a gara. Dall'attenta osservazione dei fenomeni, nacque prima di tutto l'importante distinzione fra i corpi che trasmettono l'elettricismo e quelli che non lo propagano: furon quindi costruite macchine opportune per studiare le diverse maniere con cui opera questo fluido: una imprevista scoperta fece provare agli esseri animati l'energia di quel potere che esso esercita nel loro interno, per mezzo del semplice contatto dei vasi in cui si accumula, e finalmente nacque il sospetto nei Fisici che questi fenomeni, che erano stati fino allora un soggetto di curiosità e di divertimento, fossero una benchè lontana imitazione dell'esplosione del fulmine; e per verificare questa maravigliosa analogia, Francklin trovò nel potere delle punte il segreto non meno maraviglioso di carpire il fulmine stesso alla nube che lo conteneva nel suo seno, e di presentarlo all'osservazione sotto la forma e con tutti i caratteri del fluido messo in azione dalle nostre macchine.

584. Dalla moltiplicazione dei fatti nacque naturalmente il desiderio di spiegarli, e di rilevarne la scambievole dipendenza. Dufay aveva ravvisati due diversi elettricismi, uno che chiamava *vitreo*, perchè prodotto dalla confricazione del vetro, l'altro *resinoso* perchè suscitato dalla confricazione della resina e di altre simili sostanze; e osservò che i corpi dotati di una stessa specie di elettricismo si respingevano, e attraevano quelli dotati dell'elettricismo di specie diversa. Quest'idea riprodotta in seguito da Symmer, e ridotta all'ipotesi di due fluidi esistenti

(*a*) Il nome di *elettricismo* è stato preso dalla parola *electrum* con cui gli antichi indicavano il *succino*, chiamato ancora *ambra gialla*.

(30) L'*ambra gialla* è un bitume da cui si ricava l'acido succinico, che esso contiene naturalmente formato. Ma quantunque per la sua origine e per il suo stato naturale debba riguardarsi come un bitume, pure per le sue proprietà chimiche è molto simile alle resine, e particolarmente alla coppale.

insieme in un corpo stesso, pareva in certo modo come la chiave della vera teoria. Ma Francklin con la sua dottrina dell'elettricismo positivo e negativo, presentando le azioni elettriche sotto un aspetto diverso, applicò questa dottrina medesima all'esperienza della boccia di Leida, nella quale il semplice ristabilimento di equilibrio, era per lui la vera cagione della scarica della medesima. Questa maniera meccanica di concepire un fatto che in quell'epoca era la prima fra le maraviglie dell'elettricismo, formò moltissimi seguaci di questa opinione del Filosofo di Filadelfia. Epino, uno dei più distinti fra questi, applicando il calcolo alla sua dottrina, la rese più rigorosa, e con maggior precisione collegò tutte le osservazioni che erano state fatte in questo genere, e fece egli stesso molte importanti scoperte, contribuendo così ai progressi della scienza e come Geometra e come Fisico; ed ha ancora contribuito non poco a questi progressi aprendo una strada a Coulomb, il quale partendo dal punto ove si era fermato Epino, si è aperta da se solo una carriera del tutto nuova Per mezzo di un apparecchio di sua invenzione, semplice e preciso, ha stabilita con decisive esperienze la legge con cui variano le attrazioni e repulsioni elettriche in ragione della distanza; e questa legge è stata trovata conforme a quella della gravitazione universale, scoperta da Newton negli spazii celesti; e stabilita così la teoria sopra una solida base, l'applicò egli alla spiegazione del modo con cui il fluido elettrico si distribuisce fra diversi corpi, e ad altri effetti i quali fino allora non erano stati forse che presentiti.

585. In tale stato di cognizioni relativamente all'elettricismo, le esperienze di Galvani richiamarono l'attenzione della dotta Europa sopra alcuni fenomeni singolarissimi, perchè intimamente connessi con i moti dell'economia animale, e che tanto più divennero importanti, quanto che si scuoprì in essi una relazione intima con uno dei più bei resultamenti della Chimica moderna. Ma bisognava dar maggiore estensione alla teoria, per farla servire ancora alla spiegazione di questi nuovi fenomeni, ed era riserbato al celebre Volta l'estendere i limiti della scienza, con la scoperta di un principio che non si era presentato fin allora alla mente dei più profondi Fisici.

586. Si conosceva però l'esperienza della scomposizione dell'acqua, e l'elettricismo Galvanico non aveva fatto che presentare un altro mezzo per produrla di nuovo. Era difficile prevedere i fenomeni inaspettati che essa doveva presentare all'osservazione del famoso Davy, quando accanto ai metalli che la sviluppano con lo scambievole loro contatto, vedesse comparire ad un tratto lo splendore metallico, il quale caratterizza i corpi della stessa classe, sopra sostanze di un aspetto terreo, che da lungo tempo occupavano nel metodo chimico un posto

particolare, per effetto soltanto dell'ignoranza della lor vera natura. E non era questo l'ultimo fatto maraviglioso dell'elettricismo Galvanico, dal quale dovevano derivarne altri nuovi, quando l'illustre Professore Oersted di Copenaghen divenisse nel tempo stesso l'inventore e il primo testimone della famosa esperienza, in cui il fluido elettrico sembra trasformarsi nella pila in fluido magnetico, per rompere l'equilibrio fra le forze che conservano l'ago calamitato nella sua situazione naturale, e allontanarnelo ad angolo più o meno ottuso. Ma di tutto ciò che appartiene a questa importante scoperta parleremo più particolarmente, dopo avere esposta la teoria del magnetismo; e ognuno giudicherà quanto essa abbia guadagnato da che è stata conosciuta in Francia, e dall'estensione che le hanno dato i due famosi Fisici Ampère e Arago, variando e moltiplicando gli effetti dell'apparecchio di cui si era servito nelle sue esperienze il Fisico Danese.

I. DELL' ELETTRICISMO ECCITATO PER MEZZO DI SFREGAMENTO O DI COMUNICAZIONE.

Nozioni generali.

Prima d'entrare nella spiegazione della teoria, convien dare alcune nozioni, che sempre bisognerà aver presenti al pensiero per ben concepirla.

DIFFERENZA FRA I CORPI CONDUTTORI E I CORPI NON CONDUTTORI.

587. Si distinguono due classi di corpi relativamente alla comunicazione del fluido elettrico: in una classe si pongono quelli che si chiamano *buoni conduttori*, come i metalli e i liquidi, eccettuato l'olio, i quali trasmettono con maggiore o minor facilità questo fluido ai corpi della stessa classe che sono in contatto con essi: nell'altra classe si comprendono i corpi chiamati *non conduttori*, come il vetro, l'ambra, il solfo, le resine, la seta, ec., i quali tengono imprigionato questo fluido fra i proprii pori, impedendogli di diffondersi sui corpi circonvicini.

588. Questa differenza fra i corpi, relativamente alla comunicazione dell'elettricismo, fu osservata per la prima volta da Gray e da Wheeler (*a*). Avevano essi creduto in principio che tutti i corpi indi-

(*a*) *Histoire de l' Electric. par Priestley*, t. I. p. 55.

stintamente. fossero capaci di comunicarlo e di condurlo; e volendo tentare di propagarlo a una distanza grandissima, prepararono una corda di canapa, che doveva servire di conduttore, sospesa a un sottil cordone di seta teso orizzontalmente, supponendo che piccolissima quantità d'elettricismo si perderebbe per via di questo cordone, a motivo del suo piccolo diametro, e che quindi una quantità considerevole di fluido elettrico verrebbe trasmessa a traverso della corda di canapa. Questa era lunga ottanta piedi, e passava sotto il cordone in modo, che una delle sue parti lunga pochi piedi soltanto, scendeva verticalmente, e all'estremità della quale era attaccata una palla d'avorio; e l'altra parte si stendeva in direzione orizzontale lungo un corridore, fino a un tubo di vetro al quale era stata attaccata. Mentre uno dei fisici confricava questo tubo, l'altro vedeva una piuma, posta sulla palla, esser attratta da questa e quindi respinta. Ma essendosi rotto il cordone, Gray che nel momento non ne aveva un altro da sostituirne, sostituì un filo metallico, dopo di che disparvero tutti gli effetti di prima. I due Fisici allora dedussero da ciò, che il cordone di seta non aveva opposto un ostacolo alla dispersione dell'elettricismo per il suo piccolo diametro, ma per la sua natura, e ciò che avevano riguardato come un accidente, divenne per essi la più soddisfacente scoperta.

589. Un corpo si dice *isolato*, quando è retto da un corpo non conduttore, o sospeso a un filo di seta; e tal isolamento si usa specialmente per corpi conduttori che vogliamo elettrizzare, impedendo in tal modo che essi comunichino con altri corpi conduttori, i quali essendo a contatto con quelli, toglierebbero a loro quel fluido di cui son caricati.

590. I corpi non conduttori hanno inoltre un'altra proprietà, cioè quando sono confricati mostrano intorno a se sviluppato l'elettricismo; e per questa ragione appunto sono stati chiamati ancora corpi *idio-elettrici*, cioè *elettrici per se stessi*, e gli altri sono stati chiamati *corpi anelettrici*, cioè non *elettrici* se non per comunicazione. Ma conservando a questi la denominazione di *corpi conduttori*, dedotta dalla facoltà che essi hanno di trasmettere il fluido elettrico, chiameremo gli altri col nome di *corpi isolatori*, espressione che indica un effetto opposto.

591. Ma, non son poi tanto separate queste due classi di corpi, relativamente alla comunicazione del fluido elettrico; poichè oltre non esservi alcun corpo perfettamente isolatore o perfettamente conduttore, ve ne sono moltissimi intermedii fra l'una e l'altra classe, i quali hanno qual più qual meno, la facoltà isolatrice o conduttrice. Anzi v'è una certa specie di corpi, in cui varia moltissimo il rapporto fra l'una e l'altra proprietà, secondo le circostanze; e spesso questa variazione di-

pende da una mescolanza di molecole conduttrici, interposte fra quelle di un corpo naturalmente isolatore, o reciprocamente. Così l'aria atmosferica, la quale quando è molto asciutta è moltissimo isolatrice, spesso è carica di vapori acquosi che son buoni conduttori, e che quanto son più abbondanti tanto più le fanno perdere questa facoltà. Quindi è che un'aria umida è pochissimo adattata alle esperienze elettriche, perchè imbevendosi in certo modo del fluido che si sviluppa intorno all'apparecchio, gli impedisce di arrivare a quel grado di accumulazione da cui dipende e la sua energia e il successo delle esperienze.

592. Non dobbiamo tralasciare di avvertire che i corpi conduttori, quando sono isolati, acquistano la proprietà elettrica se sieno confricati con un corpo isolatore; ma il fluido di cui in questo caso si caricano è somministrato dal confricatore, sicchè il corpo conduttore non fa che riceverlo per comunicazione. Che se questo corpo non è isolato, quando vien confricato da un isolatore, riceve in egual maniera l'elettricismo che si sviluppa in questa operazione, ma subito lo trasmette ai corpi con cui è in comunicazione.

IDEA DELLA MACCHINA ELETTRICA.

593. Sugli esposti principii è fondata la costruzione delle nostre macchine elettriche. In quella che è più in uso presentemente, l'elettricismo vien prodotto dalla confricazione delle due superficie d'un disco di vetro, eseguita per mezzo di alcuni guancialetti, il qual disco è fissato ad un asse in modo che possiamo imprimere ad esso, per mezzo di un manubrio, un moto di rotazione. Il fluido elettrico appena si sviluppa, è attratto da alcune punte di ferro poste orizzontalmente a piccola distanza da una delle superficie del disco, dalle quali si sparge sulla superficie d'un cilindro d'ottone, che specialmente si chiama *conduttore* (31): questo è retto da due colonnette di vetro, che come isolatrici impediscono che si dissipi il fluido accumulato sul conduttore; il qual fluido non potendo dall'altra parte escire a traverso dell'aria circostante, che è pure isolatrice, si accumula fino a un certo grado

(31) Poichè il metallo è il miglior conduttore dell'elettricismo, o sieno di ferro o d'ottone o di qualunque altro metallo le punte e il conduttore, poco importa: anzi il conduttore può essere di qualunque materia, purchè sia superficialmente coperto d'una lastra o foglia metallica. Sarà bene che questa sia delle meno ossidabili, come oro o argento, perchè l'ossido è un coibente dell'elettricismo.

intorno al conduttore medesimo, sicchè accostando a questo un dito o qualunque altro corpo conduttore, la presenza del fluido elettrico sarà annunziata da una scintilla.

DEI DUE FLUIDI DI CUI SI SUPPONE COMPOSTO IL FLUIDO ELETTRICO.

594. Per spiegare i fenomeni elettrici adotteremo l'ipotesi di Symmer (*a*), secondo il quale il fluido elettrico è come composto di due fluidi differenti, che nello stato naturale dei corpi sono neutralizzati l'uno dall'altro, e che si sviluppano quando i corpi danno qualche indizio d'elettricismo. Del resto bisogna pur convenire, che non vi sono ragioni tanto convincenti per provare l'esistenza di questi due fluidi, quanto quelle che provano l'esistenza del fluido elettrico, che si suppone resultare dall'unione di quelli: ma adottando l'ipotesi di questi due fluidi, sembra che si renda più semplice e più plausibile la maniera di rappresentare i resultamenti dell'esperienza, e che meglio si evitino quelle difficoltà che si incontrerebbero adottando un'altra ipotesi.

Questi fluidi operano in modo che le molecole d'uno stesso fluido si respingono scambievolmente, e attraggono quelle dell'altro, e di qui nascono quattro combinazioni diverse d'azioni tra i fluidi di due corpi, cioè due attrazioni e due repulsioni, dal che dipendono i moti per cui i corpi stessi si avvicinano o si allontanano fra loro, come in seguito spiegheremo.

595. Il fluido elettrico è sparso in tutti i corpi, e il globo terrestre ne è come un'inesausta sorgente: per la qual cosa il globo stesso, quando ha parte nei fenomeni elettrici, è stato chiamato *serbatoio comune*. In ciascun corpo esiste una certa quantità d'un medesimo fluido, che dipende dalla natura di esso, e che però chiameremo *la quantità di fluido naturale* di questo corpo. Se per qualche combinazione questo fluido venga scomposto, il corpo si troverà elettrizzato: dunque non dobbiamo confondere un corpo che è nello stato naturale, con un corpo il quale non ha che la sua quantità naturale di fluido, poichè la scomposizione di questa può far escire il corpo dal suo stato naturale, senza alcun aumento di fluido estraneo. In egual maniera un corpo può passare allo stato elettrico per una quantità soprabbondante dell'uno o dell'altro dei fluidi componenti, ricevuto per comunicazione.

(*a*) *Philosoph. Transact.*, t. LXI, parte I, p. 340. e seg.

596. Paragoniamo ora l'ipotesi che adottiamo sull'elettrizzazione dei corpi, con l'ipotesi di Francklin. Questo Fisico famoso considerava il fluido elettrico come un essere semplice, e pensava che quando un corpo passa allo stato di elettricismo, può accadere una di queste due cose: o che il corpo riceva un aumento di fluido oltre quello che contiene naturalmente, e in questo caso si dice elettrizzato *positivamente*, come accade al vetro e ad altre sostanze per mezzo di coufricazione; o che il corpo perda una porzione del suo fluido naturale, e allora si trova elettrizzato negativamente, come accade confricando la cera di Spagna, la resina, la seta, ec.; e di qui son nate le espressioni di *elettricismo positivo* e di *elettricismo negativo*, usate da Francklin per indicare i due stati opposti di elettricismo; e vedremo fra poco che uno stesso corpo potrebbe ancora passare all'uno o all'altro di questi stati, secondo le circostanze.

Nella nostra ipotesi però, tutti gli effetti attribuiti da Francklin all'elettricismo positivo o a una soprabbondanza dell'unico fluido che egli ammetteva, saranno prodotti dall'azione di un dei due fluidi componenti, posto in libertà; e gli effetti che secondo lui dipendevano dall'elettricismo negativo, o dalla sottrazione d'una porzione di quell'unico fluido, dipenderanno dall'azione dell'altro fluido componente. Chiameremo dunque *fluido dell'elettricismo vitreo*, o semplicemente *fluido vitreo*, il fluido relativo alla prima specie d'elettricismo; e chiameremo *fluido d'elettricismo resinoso* o *fluido resinoso*, quello relativo alla seconda specie. Questo linguaggio è quasi eguale a quello di cui si serviva Dufay in un senso meno determinato; e poichè ignoriamo la natura di questi fluidi, come non è determinata neppure l'esistenza di essi, ci sembra che il miglior partito sia quello di denominarli dai corpi stessi che li somministrano in un modo particolare.

597. Si osservi però che questi fluidi che noi ipoteticamente consideriamo, non debbon confondersi con le due correnti di materia effluente ed affluente immaginate da Nollet per spiegare i fenomeni elettrici, poichè queste due correnti appartenevano a uno stesso fluido, e una si gettava dal conduttore verso i corpi circostanti, e l'altra da questi su quello. In fatti v'è gran differenza fra quelle ipotesi che supponevano varii effluvii, i quali esercitavano certe azioni non soggette a veruna legge nè a verun metodo rigoroso, immaginate in mancanza d'altre ipotesi migliori, e quelle teorie che son fondate sopra certe forze di misura

conosciuta per mezzo dell'esperienza, e gli effetti delle quali sono stati determinati dal calcolo con tal precisione che possono perfino predirsi (32).

(32) Non è tanto generalmente adottata in Francia l'ipotesi di Symmer, quanto è generalmente adottata in Italia e presso le altre Nazioni dotte l'ipotesi di Francklin relativamente all'elettricismo, specialmente da che il nostro celebre Volta ha sparso tanta luce su questa teoria. Ambedue però queste opinioni, come ipotesi, hanno il carattere della verità probabile, cioè d'essere più o meno probabili secondo la diversa maniera con cui ognuno le considera. Senza tacciar dunque di improbabile l'ipotesi Symmeriana, noi adotteremo la Francklinniana come quella che ci comparisce più probabile. E perchè non sembri che uno spirito di patria ci determini a questa scelta, lo che sarebbe ingiusto trattandosi d'opinioni scientifiche, premettiamo le principali cagioni per cui ci sembra più probabile l'ipotesi che adottiamo.

Ammettere due cause diverse d'un sol genere di fenomeni, sembra contrario al metodo rigoroso di unità osservato dalla natura nelle sue operazioni. Dunque poichè tutto in questo genere è supposizione, perchè supporre due fluidi come cause di due specie di fenomeni che in fine si riducono a un genere solo? In tal caso, perchè non ammettere egualmente due principii diversi come cause del riscaldamento e del raffreddamento dei corpi, e due principii per le attrazioni e repulsioni magnetiche?

Che un fluido riconosciuto da tutti per elastico, invisibile e sparso in tutti i corpi, si stacchi come il calorico da un corpo per mezzo di confricazione, di pressione, ec., si concepisce più facilmente, di quello che due fluidi di natura in certo modo omogenea si distacchino fra loro o si separino con mezzi meccanici tanto semplici.

Se questi due fluidi secondo i Symmeriani si attraggono reciprocamente, e se dall'attrazione reciproca resulta neutralizzazione, perchè non si neutralizzano quando si incontrano nel passaggio da una superficie elettrizzata resinosamente a una superficie elettrizzata vitreamente? Non sembra egli più naturale che la combinazione accada per causa di eccesso o di difetto, secondo l'immutabil legge dell'equilibrio che si osserva in natura?

E se due specie d'elettricismo emanano da due specie diverse di materia, perchè l'emanazione da una materia stessa è diversa secondo la diversa maniera di produrla? eppure, come vedremo, una sostanza medesima produce diversi effetti secondo la maniera con cui vien trattata.

Osservando la scintilla che apparisce nell'atto della scarica d'una boccia o d'una batteria, si vede che essa parte sempre dalla superficie elettrizzata, secondo Francklin, positivamente. Quando mai è stato detto non che provato, che l'elettricismo resinoso abbia forza d'attrarre il vitreo, piuttosto che il contrario? Sembra dunque più naturale che il fluido elettrico il quale si trova sopra un corpo in minor quantità, chiami in certo modo a se il fluido elettrico che abbonda in un altro, o che la maggior quantità tenda a compensar la minore, lo che è conforme alla solita legge d'equilibrio.

In conseguenza di questi principii generali ci determiniamo a preferire l'ipotesi francklinniana alla symmeriana, e ad ammettere un solo fluido elettrico; quindi all'elettricismo *vitreo* del symmeriani corrisponderà per noi l'elettri-

VARIETA' CHE SI OSSERVANO NEI CORPI ELETTRIZZATI PER CONFRICAZIONE.

598. Due corpi isolatori, scambievolmente confricati, divengono elettrizzati in due modi diversi, e le circostanze che fanno acquistare a ciascuno di essi una specie piuttosto che un'altra d'elettricismo, dipendono da certe cause che non sempre possono facilmente mettersi in chiaro. Il vetro e tutte le materie di un carattere vitreo distinto, come il cristallo di monte, e le pietre gemme, acquistano quasi sempre l'elettricismo vitreo, qualunque siasi il confricatore: abbiamo detto quasi sempre, perchè è stato osservato che il vetro confricato con pelle di gatto si elettrizza resinosamente. Dall'altra parte la resina, il solfo e la cera di Spagna acquistano l'elettricismo resinoso, confricate con qualunque materia isolatrice. Dobbiamo però fare una restrizione, almeno relativamente alle sostanze vitree, le quali non manifestano l'elettricismo vitreo se non fin tanto che hanno la superficie liscia e pulita; e in fatti un vetro appannato si elettrizza resinosamente, confricato con le stesse sostanze che prima dell'appannamento sviluppavano in esso l'elettricismo vitreo. In generale tutte le sostanze che hanno una superficie scabra, sembra che, a eguaglianza di circostanze abbiano una tendenza più decisa per l'elettricismo resinoso. Confricando un nastro bianco di seta con un altro di color nero, il primo si elettrizza vitreamente e il secondo resinosamente, il qual effetto vien attribuito da Ingen-Housz alla materia colorante del nastro nero, composta di molecole che rendono alquanto scabra la superficie di questo nastro (*a*) (33).

cismo per eccesso, relativamente alla quantità di fluido naturale d'un corpo, ossia l'elettricismo *positivo*; e all'elettricismo *resinoso* corrisponderà l'elettricismo per difetto, ossia *negativo*.

(*a* *Nouvelles Exp. et Observ. sur divers objets de Physiq.*, t. I, p. 5.

(33) Ammesso il principio che il fluido elettrico è sparso in tutta la terra in generale, la quale perciò si chiama il serbatoio comune, e in ogni corpo in particolare; e ammesso del pari per analogia il principio che questo fluido esista nei corpi in maggiore o minor quantità, secondo la capacità loro per esso, ecco che cosa apparisce che sceada nell'atto della confricazione. Confricando un corpo, si altera naturalmente la disposizione delle sue parti, come resulta ancora dallo sprigionamento del calorico che stava prima imprigionato fra quelle; e questi effetti della confricazione son riconosciuti ancora dall'Autore (§. 605): variata la disposizione delle parti, deve variare la forza dell'attrazione di esse per il fluido elettrico, cioè questa attrazione deve crescere o scemare secondo la varia natura dei corpi. Cresce per esempio nel vetro e nei corpi di un carattere vitreo, che in generale attraggono nuova quantità d'elettricismo dal confricatore, e però si dice che queste sostanze si elettrizzano positivamente; e scema nel solfo, nelle resine, nei metalli, ec., che danno al confricatore una porzione del proprio elettrici-

599. Fra i corpi metallici isolati, confricati con un pezzo di panno, o con qualunque altra sostanza di una data natura, alcuni come lo zinco e il bismuth acquistano l'elettricismo vitreo, altri come lo stagno e l'antimonio acquistano l'elettricismo resinoso; e citiamo particolarmente questi metalli, perchè son quelli che in generale producono più costantemente gli stessi effetti.

600. La stessa diversità si osserva ancora in alcuni corpi isolatori: anzi talvolta la confricazione fa nascere costantemente una specie d'elettricismo in un pezzo d'una sostanza, e sviluppa costantemente un elettricismo diverso in un altro pezzo della sostanza medesima. Non conosciamo alcun corpo in cui questo genere di anomalie dipenda da variazioni tanto delicate e appena sensibili, quanto nel minerale chiamato comunemente *cianite*, e a cui noi abbiamo dato il nome di *distene* (che ha due proprietà). Fra i diversi cristalli di questo minerale, alcuni acquistano sempre per mezzo di confricazione l'elettricismo resinoso, altri l'elettricismo vitreo; e in alcuni le due specie d'elettricismo sono in contrasto fra loro sulle due facce opposte, senza che nè l'occhio nè il tatto possano rilevare nella lucidezza e nella levigatezza delle facce medesime il minimo indizio di questa differenza di stati.

CIRCOSTANZA IN CUI IL TAFFETTA' GOMMOSO ACQUISTA L'ELETTRICISMO VITREO.

601. Il professor Libes ha scoperto una maniera particolare di eccitare la virtù elettrica nel taffettà gommoso, di cui si compongono i nastri che si elettrizzano per confricazione, onde caricare alcune piccole bocce, con cui si ripete l'esperienza di Leida, che descriveremo a suo luogo. L'intonacatura di cui è coperto questo taffettà, forma come una specie di vernice viscosa, per cui il taffettà resta adeso per via di pressione alla superficie del corpo su cui viene applicato, dimanierachè è necessario poi un grandissimo sforzo per distaccarnelo, sforzo che

smo, per lo che si dice che si elettrizzano negativamente. Ho detto in generale, perchè minore apparisce per natura la capacità elettrica del vetro, e maggiore quella del solfo, delle resine e dei metalli. Che se il confricatore abbia una capacità elettrica o minore del vetro, ec., come il pelo di gatto, o maggiore dei metalli, ec., come la cera lacca, accaderà tutto l'opposto, cioè il vetro si elettrizzerà negativamente, e il metallo positivamente. Se esistesse un fluido particolare nelle due specie citate di corpi, come potrebbe esso cambiarsi in un altro per effetto di una confricazione eseguita piuttosto con un corpo che con un altro? e quindi come potrebbero spiegarsi tutte le anomalie di questo genere, delle quali nell'ipotesi symmeriana convien fare senza bisogno altrettante eccezioni alla regola generale? La nostra spiegazione serve egualmente a render ragione dell'esperienza del Prof. Libes citata dall'A. (§. 601).

è accompagnato da un certo romore simile a quello che si sente strappando un corpo tessuto.

Si sa che la confricazione ordinaria fa acquistare al taffettà gommoso l'elettricismo resinoso; ma Libes osservò, che limitandosi ad applicare sulla superficie di questa specie di tessuto un disco metallico, isolato per mezzo d'un manico di vetro fissato nel centro di esso, il taffettà, dopo la sua separazione dal disco, si trova elettrizzato vitreamente, e il disco in vece è elettrizzato resinosamente; e ambedue le specie d'elettricismo hanno tanto maggiore energia, quanto l'applicazione del disco è stata eseguita con una maggior pressione. In questa esperienza sembra che la resistenza opposta dalla vernice allo sforzo con cui il disco tenderebbe a separarsi, ecciti nelle particelle di questa vernice un certo moto simile a quello che esse provano per parte della confricazione; se non che l'elettricismo acquistato dal taffettà è d'una specie diversa da quella che nascerebbe dalla confricazione, quando pure il confricatore fosse il medesimo disco metallico.

Per verificare questa esperienza in modo che ne apparisca ancor più chiaro l'effetto, basta confricare primieramente il taffettà col disco metallico, nel qual caso quello acquista l'elettricismo resinoso, e questo il vitreo: quindi se si applichi il disco per mezzo di pressione sul taffettà, si trova che ciascuno possiede tuttavia la stessa specie d'elettricismo, ma in grado più debole; e se si vadano ripetendo i contatti, si arriva a un punto in cui l'elettricismo è zero in ambedue i corpi, e al di là di questo termine, il nastro passa allo stato vitreo, e il disco metallico allo stato resinoso.

Se in vece di questo disco si ponga un piatto di vetro, il taffettà acquista in questo caso ancora l'elettricismo vitreo, e il vetro acquista il resinoso, cioè sono ambedue in uno stato opposto a quello in cui gli avrebbe posti la confricazione ordinaria.

Tutti questi effetti sembrano talmente dipendenti dalla resistenza che si oppone alla separazione, che servendosi di un taffettà il quale disseccatosi abbia perduta la sua qualità glutinosa, in modo da non poter più rimanere adeso a veruu altro corpo, l'applicazione del disco non produce più in esso veruna specie d'elettricismo.

602. Per una favorevole combinazione, la prima sostanza minerale su cui abbiamo osservata l'azione di quella specie d'elettricismo di cui ora siamo per parlare, è stata quella che per l'energia dei suoi effetti, deve riguardarsi come la prima fra tutte le sostanze di questo genere (*a*), e questa sostanza è la calce carbonata trasparente, detta *spato d'Islanda* (34). Esso è dotato talmente di quella facoltà che potrebbe chiamarsi *irritabilità elettrica*, che prendendo con una mano un romboide di questo spato per due dei suoi canti opposti, e toccate, ancora leggiermente, due delle sue facce parallele con due dita dell'altra mano, se si accosti al piccolo ago di prova, eserciterà sopra di esso un'attrazione notabile (*b*). Se in vece di pressione si usi il contatto, il quale può riguardarsi come una pressione mitigatissima, è chiaro che si otterranno effetti più distinti, e l'elettricismo acquistato con uno di questi due mezzi è quello che chiamiamo vitreo. Questa medesima sostanza è elettrica ancora per confricazione.

603. In molte sostanze abbiamo trovata la proprietà di divenire elettriche per mezzo di pressione, ma quella che ne è dotata più di tutte è lo spato d'Islanda. In generale il successo delle esperienze dipende

(*a*) Siamo stati più volte interrogati in qual maniera siamo giunti a fare questa piccola scoperta. Alcuni chimici avendo annunziato, che analizzando alcuni pezzi di spato d'Islanda trasparentissimo, vi avevano trovata una certa quantità di ferro e di manganese, noi desiderammo sapere se la presenza del ferro fosse indicata dal moto d'un ago calamitato messo in equilibrio, in una certa maniera di cui parleremo trattando del magnetismo, e che lo rende capace d'obbedire all'azione d'una piccolissima quantità di detto metallo. Avvicinando un romboide limpido di spato d'Islanda a uno dei poli dell'ago, questo fu attratto con tanta forza, che ci pareva impossibile che tale attrazione fosse prodotta da pochi atomi di ferro, giacchè in tal caso l'effetto sarebbe stato maggiore della causa. I nostri sospetti si rivolsero allora verso l'elettricismo, e con questa nuova idea presentato un'altra volta all'ago il medesimo romboide, vedemmo l'effetto medesimo. Nel prendere questo romboide, avevamo dovuto naturalmente applicare due dita a due delle sue facce opposte, e quindi esso era in tal situazione da servire all'esperienza che doveva scoprire il fenomeno.

(34) Questo fossile, che è una delle specie della calce carbonata, è composto di 56, 5 di calce, 43, o d'acido carbonico, o, 5 d'acqua.

(*b*) Facilmente si vede quanta differenza passa fra quest'azione delicata delle dita sopra una superficie vitrea, e l'azione che si osservò nell'esperienza di Libes, in cui l'elettricismo prodotto dipende dalla viscosità della vernice applicata sul taffettà, e dall'agitazione esercitata fra le sue molecole da quella specie di lacerazione, che rompe la loro adesione col corpo unito al taffettà per mezzo di pressione.

Digitized by Google

dal grado di purità e di trasparenza dei corpi che sperimentiamo, i quali sono del genere di quelli specialmente, che per mezzo di divisione meccanica possono ridursi in lastre piane ed unite; benchè però possono servire allo stesso intento quelli ancora che sono stati ridotti artificialmente a questa forma. Del numero dei primi sono il topazio, e specialmente quello che è senza colore, l'euclasio, l'arragonite, la calce fluata e il piombo carbonato. I pezzi di quarzo hyalino di cui ci siamo serviti, erano stati tutti lavorati. Tutti questi corpi acquistano l'elettricismo vitreo tanto per via di confricazione quanto per via di pressione; ma la barite solfata e la calce solfata resistono all'azione della seconda di queste due forze.

604. Fra i corpi nei quali la confricazione eccita l'elettricismo resinoso, ve ne sono alcuni che l'acquistano soltanto per effetto di una semplice pressione, quale appunto comparisce quel minerale conosciuto sotto il nome di *bitume elastico*, quando col tagliarlo venga ridotto a una forma adattata all'esperienza.

605. La confricazione e la pressione devono considerarsi come due forze distinte, ciascuna delle quali ha una maniera particolare di agire. La prima dipende da un moto di trasporto, in virtù del quale tutti i punti della superficie del corpo confricato son messi successivamente a contatto con quelli della superficie del confricatore. Queste due superficie non strisciano l'una sull'altra con tanta libertà, da non essere alquanto trattenute dalle scabrosità loro, scabrosità che alterano sempre il livello stesso di quelle che sono state levigate con moltissima diligenza. Da ciò nasce nelle molecole del corpo confricato un certo scuotimento, che eccita il fluido elettrico il quale si trova fra le due superficie; ma quando ciò si fa per mezzo di pressione, la superficie premuta cede allo sforzo delle dita, e quindi accade un leggiero rimovimento delle molecole, che cedono esse pure a questo sforzo; e ritirando poi le dita, i piccolissimi moti prodotti dalla tendenza a porsi di nuovo nelle primitive situazioni, mettono in attività il fluido elettrico di cui si carica la superficie del corpo.

In conferma della distinzione che abbiamo fatta, basta osservare che fra le sostanze le quali cedono all'azione della confricazione, ve ne sono alcune che resistono a quella della pressione, che tenderebbe a renderle elettriche: tali sono la calce solfata e la barite solfata.

In un altro articolo in cui tratteremo della proprietà che hanno i corpi di conservare più o meno la virtù elettrica dopo averla acquistata, faremo vedere che lo spato d'Islanda ha questa proprietà più che qualunque altra sostanza.

606. Si chiama *tensione elettrica* la forza repulsiva, con cui le molecole del fluido vitreo o resinoso sparso sulla superficie d'un corpo, tendono a slontanarsi l'une dalle altre; la qual forza è proporzionata alla densità del fluido, o al numero delle molecole contenute in un dato spazio. Supponiamo due corpi carichi per esempio di fluido vitreo: applicando sulla superficie di ciascun corpo un piccolo disco metallico, fissato all'estremità d'un ago di gomma-lacca, per tenerlo isolato, le quantità di fluido che i due dischi, supposti eguali, toglieranno ai suddetti corpi, saranno fra loro in proporzione come le tensioni dei corpi stessi; e se per misurarle si usino certi mezzi di cui parleremo fra poco, potrà determinarsi il rapporto fra le tensioni medesime (35).

Della legge che seguono le azioni elettriche in ragione della distanza.

607. Le forze dei due fluidi che compongono il fluido elettrico, esercitano la loro azione, come abbiam detto altra volta (§. 585), in ragione inversa del quadrato della distanza; la qual legge era già stata conosciuta da molti fisici, e specialmente da Epino, il quale diceva che se avesse dovuto scegliere, avrebbe dato la preferenza a questa medesima legge, perchè essa aveva una analogia con quella (*a*). Dal che apparisce che egli presumeva che il principio dei moti celesti dovesse estendersi su tutte le azioni esercitate a distanza; e quanto più bella e più soddisfaciente era questa idea, tanto era più desiderabile che diventasse una verità di fatto.

Coulomb l'ha dimostrata nel tempo stesso per le attrazioni elettriche e per quelle che dipendono dal magnetismo (*b*), e ha chiamato col nome di *bilancia elettrica* l'apparecchio di cui si è servito nelle esperienze dell'elettricismo; nome adattatissimo, poichè con essa si può

(35) La *tensione elettrica* può riguardarsi come una tendenza all'equilibrio; e poichè il disequilibrio accade sempre per eccesso in un corpo e per difetto in un altro, si chiama *tensione positiva* lo sforzo con cui il fluido accumulato sopra un corpo elettrizzato positivamente tende a diffondersi sui corpi vicini, per ridursi dovunque a una densità uniforme; e *tensione negativa* lo sforzo con cui un corpo elettrizzato negativamente tende, per la stessa ragione, ad assorbirne dai corpi circonvicini.

(*a*) *Tentamen Theoriae electricit. et Magnet.* p. 38.

(*b*) *Histoire de l'Ac. royale des Scienc.* an. 1785, p. 569.

stabilir l'equilibrio fra una forza elettrica e un' altra forza che possa essere misurata rigorosamente fin nelle minime sue parti.

Quest' ultima forza si chiama *forza di torsione*, ed è lo sforzo che fa un filo già torto per svolgersi o tornare al primitivo suo stato. Sia *ac* (*fig.* 73) un filo di metallo o di qualunque altra materia, a cui si sospenda per il punto di mezzo *c* una piccola leva *bd*: supponiamo primieramente che questa leva essendo in riposo cominci a girare intorno al punto *c*, descrivendo con le estremità due archi di circolo: è chiaro che il filo nel tempo stesso si torcerà di un numero di gradi eguale a quello dei gradi compresi nei due archi; e se si voglia conservare il filo in questo stato di torsione, bisognerà applicare a un'estremità della leva una resistenza eguale alla potenza o forza con cui il filo tenderebbe a svolgersi, e a tornare in quello stato in cui la torsione era zero, quando la leva era in riposo. E Coulomb ha provato che in circostanze eguali, questo sforzo che egli chiama *forza di torsione*, è proporzionale all'angolo di torsione: per esempio, se nel caso precedente l'arco descritto dal punto *b* o *d*, ossia la quantità di torsione era 30°, e *r* la resistenza capace di fare equilibrio a questa torsione, supponendo una torsione doppia in virtù d' un arco di 60°, doppia pure dovrà essere la resistenza, ossia 2*r*, perchè tutto si mantenga in equilibrio.

DESCRIZIONE ED USO DELLA BILANCIA ELETTRICA.

608. L'apparecchio usato da Coulomb è composto principalmente di una gran gabbia o cassa di vetro ACDB (*b*) (*fig.* 74), coperta di una lastra AC della stessa materia: nel centro di questa è saldato un tubo verticale *febh* parimente di vetro, ma che termina in cima con un tubo più corto di ottone *cbhd*, in cui è incastrata un' altra porzione di tubo dello stesso metallo: su questo è posata una lastra *ly*, divisa nella sua periferia in 360° nella direzione di *lky*, e con un foro nel mezzo, in cui si introduce una piccola asta, all'estremità superiore della quale è attaccato un ago *ol*, che si fa girare insieme con l'asta stessa, e all'inferiore è attaccata una pinzetta che tiene un sottilissimo filo d'argento *pn*, tenuto teso da un piccolo cilindro d'ottone *nu*, sospeso all'estremità inferiore del medesimo. Questo cilindro ha inoltre una fenditura longitudinale che fa le veci di pinzetta, la quale tiene stretta una piccola leva *ag*, un braccio della quale *na* è fatto di fil di seta intriso di gomma lacca, e terminato da un piccolo piano circolare *a* di carta dorata: l'altro braccio è un

(*b*) Questa cassa può essere o di forma cilindrica, come la rappresenta la figura, o di forma cubica.

filo di ottone *gn*, lungo quanto basta perchè la leva stia in situazione orizzontale; e appunto nella torsione impressa al filo metallico *pn*, consiste la forza che serve a misurare quella dei corpi elettrici, all'effetto dei quali essa fa equilibrio.

La lastra AC ha un foro in *m*, a traverso del quale passa un altro filo di seta, intriso esso pure di gomma lacca, e tenuto in una direzione *mt* quasi verticale per mezzo di un cannello *rs* di cera di Spagna; e all'estremità inferiore *t* di questo filo di seta è sospesa una pallina *x* di ottone, che corrisponde al punto zero di un cerchio graduato *zq*, attaccato intorno alla cassa ACDB. Per mezzo del tubo superiore di ottone, che si fa girare lentamente in quello in cui è incastrato, si posson sempre disporre le cose in maniera, che il piccolo piano circolare *a* tocchi la pallina *x* senza che il filo di sospensione provi alcuna torsione.

609. Tutto così disposto, passiamo a descrivere l'esperienza che Coulomb presentò nel 1785 all'Accademia delle Scienze. Primieramente elettrizzò il circolo dorato *a* e la pallina *x* di ottone, toccando e l'una e l'altra con un piccolo conduttore caricato di elettricismo vitreo, da lui introdotto nella cassa per mezzo di un'apertura fatta in quella a tale oggetto: la pallina respinse subito il piccolo piano circolare alla distanza di 36°, giacchè tanti ne indicava la situazione di questo piano, relativamente alla circonferenza circoscritta alla cassa di vetro; e per una necessaria conseguenza il filo metallico si torse di un egual numero di gradi. Coulomb continuò a torcerlo per altri 126°, facendo girare l'ago *ol* attaccato alla verga a cui era sospeso questo filo: e ognuno comprende che in questo caso il moto di rotazione dell'ago doveva essere in direzione opposta a quella del circolo dorato.

Essendo così aumentata considerevolmente la forza di torsione, e l'azione repulsiva dei due corpi non bastando più a farle equilibrio alla medesima distanza, il cerchio dorato si avvicinò alla pallina, finchè la forza di repulsione non si trovò talmente accresciuta dalla diminuzione della distanza, da ristabilir l'equilibrio; e in questo punto i due corpi non eran distanti che soli 18°. Si osservi intanto che la torsione impressa di 126°, non essendo che una continuazione della torsione di 36° già prodotta dalla repulsione dei due corpi, se si sottraggano da quest'ultima i 18° che misurano quanto si è svolto il filo, mentre il cerchio dorato si avvicinava alla pallina di ottone, resteranno 18°: i quali aggiunti ai 126° di torsione impressa, daranno 144°, torsione totale relativa alla seconda situazione dei due corpi. Ma nella situazione precedente la torsione era di 36°; dunque le due forze repulsive che facevano equilibrio a queste torsioni, erano nel rapporto di 4 a 1, che è lo stesso che 144 a 36: ma le distanze corrispondenti erano come 18 a 36, o sia

come 1 a 2, dunque le forze repulsive erano in ragione inversa del quadrato della distanza. Questa esperienza è stata ripetuta in diverse maniere con diversi rapporti fra le distanze, e tutti i resultamenti si son trovati conformi alla medesima legge.

610. I piccoli errori che son sempre inseparabili dagli effetti di una macchina, i moti della quale non corrispondono mai a una rigorosa esattezza geometrica, non sono sfuggiti all'attenzione di Coulomb: per esempio la vera misura della distanza fra i due corpi, non è precisamente l'arco che li separa, ma la corda di questo arco: dall'altra parte l'azione repulsiva della pallina d'ottone, relativamente al cerchio dorato, è alquanto obliqua sulla leva su cui è posato questo cerchio; ma la macchina è talmente costruita, che i due errori progrediscono in modo contrario l'uno all'altro, sicchè si compensano visibilmente quando gli angoli non sono molto grandi.

611. Con esperienze analoghe è stato trovato che le attrazioni elettriche ancora seguono la ragione inversa del quadrato della distanza: anzi senza neppur ricorrere all'osservazione, si può immediatamente concludere la legge delle attrazioni da quella delle repulsioni, considerando l'equilibrio di due corpi ognuno dei quali non ha che il suo fluido naturale. E poichè le quantità di elettricismo vitreo che fanno parte della quantità di fluido naturale, son sempre proporzionate alla quantità di elettricismo resinoso, da che le repulsioni scambievoli dei fluidi della medesima specie sono in ragione inversa del quadrato della distanza, le attrazioni debbon seguire la stessa legge, senza di che non vi sarebbe equilibrio.

DESCRIZIONE DI ALCUNI STRUMENTI DI PICCOL VOLUME, CHE POSSON SERVIRE A VARIE ESPERIENZE.

612. Fra i fenomeni elettrici ai quali si applica la teoria di cui abbiamo esposti i principii, ve ne sono alcuni che senza apparire molto considerevoli, non sono però men degni di osservazione, e che per mostrarsi non richiedono l'uso di quelli apparecchi più o meno voluminosi, destinati specialmente per quelle esperienze, gli effetti delle quali dipendono da una fortissima azione dei fluidi vitreo e resinoso. Crediamo quindi di far cosa grata agli amatori della fisica, indicando loro alcuni piccoli strumenti di moderna invenzione, che ognuno può procurarsi facilmente, e che posson servire con buon esito all'osservazione di questi fenomeni, avendo di più il vantaggio di acquistare una forza maggiore dalla stessa costruzione loro, e dalla scelta delle materie di cui son composti.

613. Il pezzo principale del primo è un ago *gf* (*fig.* 75) d'argento o di ottone, che da una parte termina con un globetto *f* dello stesso metallo, e dall'altra parte con una piccola sbarra o con una stretta lastra *a* di spato d'Islanda trasparente, fissato quivi con cera o in qualunque altro modo. Nel mezzo di questo ago è un cappelletto *h* di cristallo di monte, per cui esso fa le veci di una leva, che si muove sulla punta di un pernio sostenuto da un cannello *ln* di gomma lacca o di cera di Spagna, spianato in fondo in modo da poterlo posare verticalmente: sul braccio *fr* della leva è posto un piccolo cursore *d*, che si manda avanti o indietro per stabilire l'equilibrio quando bisogna.

Quando si vuol mettere in azione questo apparecchio, si prende con la mano destra la leva per l'estremità *f*, e si preme la sbarra fra due dita della mano sinistra, e quindi si ripone la leva sul suo pernio. Si osservi che la sbarra di spato deve essere voltata in maniera, che due delle sue facce laterali opposte sieno situate verticalmente. Chiameremo questo apparecchio *elettroscopio vitreo*, dal nome della specie di elettricismo eccitato in esso dalla pressione.

614. Il secondo apparecchio è quasi eguale al precedente, se non che in vece della leva *gf* vi è un semplice ago *os* d'argento o di rame (*fig.* 76) con due globetti fissati alle due estremità, e col cappelletto di mezzo *hx* fatto dello stesso metallo. Per mettere questo apparecchio in stato di elettricismo resinoso, come lo richiede la sua destinazione, si frega a più riprese sopra un pezzo di lana o di panno un cannello di cera di Spagna o un pezzo di ambra, quindi si accosta fino al contatto di uno dei globetti dell'ago, che subito vien respinto, e qui termina l'operazione. Chiameremo questo strumento *elettroscopio resinoso*.

615. Il terzo apparecchio consiste in un piccolo ago di rame o di argento *os* (*fig.* 77), col cappelletto di cristallo di monte, il qual ago si muove sulla punta di un sostegno *xz* dello stesso metallo. Esso può mettersi come più piace in stato di elettricismo vitreo o resinoso, che esso conserva per qualche tempo per mezzo del cappelletto che ha la proprietà isolatrice. La concavità di questo cappelletto oppone una nuova resistenza allo sforzo del fluido di cui è stato caricato l'ago, per introdurvisi e penetrare fino alla punta del sostegno, poichè supponendo che ivi fosse entrato, non potrebbe restarvi. Di qui nasce il nome di *ago isolato* con cui indichiamo questo apparecchio.

616. Che se si voglia comunicare all'ago l'elettricismo resinoso, si tocca uno dei globetti con un pezzo di cera di Spagna o di ambra fregato, come nel caso del secondo apparecchio; ma si osservi però che spesso un solo contatto non basta per produrre la repulsione, che è l'indizio del potere resinoso acquistato dall'ago, e bisogna quindi fare strisciare

a due o tre riprese l'ambra o la cera di Spagna sulla superficie del globetto; e quindi se allontanandosi alquanto dall'uno o dall'altro di questi globetti, si vede che esso va indietro, è questo un'indizio certo che l'operazione è riuscita.

617. Se si voglia al contrario fare acquistare all'ago l'elettricismo vitreo, si otterrà egualmente l'intento per mezzo della cera di Spagna o dell'ambra elettrizzata per confricazione, ma dirigendola diversamente. Preso con due dita di una mano uno dei globetti con cui termina l'ago, come *o*, conservando l'ago stesso nella sua situazione orizzontale, si prende con l'altra mano l'ambra o la cera di Spagna, e a poco a poco si avvicina in faccia all'altro globetto *s*, fino alla distanza di pochi millimetri, in modo che il centro della parte confricata sia sulla direzione prolungata dell'ago. Lasciando così il tutto per un minuto in circa, si ritirano primieramente le dita che erano in contatto con il globetto *o*, e quindi si ritira pure l'ambra o la cera di Spagna, mettendo però un breve intervallo fra questi due moti: e in tal caso l'ago si trova elettrizzato vitreamente. In uno dei seguenti articoli spiegheremo particolarmente ciò che avviene in questa operazione.

618. Il quarto apparecchio è tanto semplice che basta indicarlo; e la sola differenza che passa tra questo e il precedente è che in questo il cappelletto è pure di metallo. Il suo nome che si presenta come da se stesso, sarà quello di *ago non isolato*.

619. Aggiungeremo un quinto apparecchio che consiste in un piccolo globo metallico o (*fig.* 78), di 13 o 14 millimetri o un mezzo pollice in circa di diametro, fissato all'estremità di un cannello di cera di Spagna o di gomma lacca, che serve ad isolarlo mentre esercita la sua azione sopra un altro corpo, in forza dell'elettricismo che gli è stato comunicato, e chiameremo questo apparecchio col nome di *globo isolato*. In seguito faremo vedere gli usi a cui servono questi diversi apparecchi.

TENDENZA CHE HA IL FLUIDO ELETTRICO A SPARGERSI SULLA SUPERFICIE DEI CORPI CONDUTTORI.

620. In conseguenza dell'esposta legge si presenta naturalmente al pensiero un'osservazione, cioè che il fluido libero il quale tiene un corpo in stato elettrico, è tutto sparso intorno alla superficie di esso, e nulla ne esiste nell'interno, la qual proprietà è provata ancora dal raziocinio e dall'esperienza, come dimostreremo; se non che la prova geometrica è rigorosa soltanto per i corpi sferici e per alcuni altri che indicheremo. Ma poichè un solido di qualunque forma può sempre riguardarsi come circoscritto a uno di questi corpi, la maniera con cui la

materia eccedente è modificata dall' azion principale, produrrà una differenza ben piccola nell' effetto.

621. La dimostrazione che siamo per dare di questo fatto, relativamente ai corpi sferici, dipende da due principii della filosofia Newtoniana: il primo, che già citammo parlando dell'attrazione (§. 41), è che se tutte le molecole di una sfera attraggono in ragione inversa del quadrato della distanza, e lo stesso si dica della forza repulsiva, la somma delle azioni che esse esercitano sopra una molecola di materia situata fuori della sfera, sarà la stessa come se tutte le molecole agenti fossero riunite nel centro della medesima sfera. In questo caso, come abbiamo osservato, la maniera con cui si combinano le azioni che emanano dai diversi punti della sfera è tale, che esiste una certa compensazione fra le azioni più deboli delle molecole situate al di là del centro, relativamente alla molecola attratta o respinta, e le azioni più forti delle molecole situate di qua dal centro stesso; sicchè il centro è il punto in cui dovrebbero riunirsi tutte le molecole, per esercitare una forza media, che fosse eguale alla somma di tutte le forze sparse nell' intera massa.

Questo primo principio è sempre vero, in quanto che ciascuno strato di cui si suppone composta la sfera dal centro fino alla superficie, ha esso pure una forza attrattiva o repulsiva, come se tutta le sua materia fosse riunita nel centro; dunque la proposizione si avvererebbe in egual modo relativamente a un semplice inviluppo sferico, che lasciasse un voto fra se ed il centro.

622. Nel secondo principio si suppone un inviluppo simile, le molecole del quale operino pure secondo la medesima legge; ma la molecola attratta o respinta, in vece di trovarsi fuori di questo inviluppo, è situata in qualche punto della sua cavità, e si prova che in tal caso è egualmente attratta e respinta da tutte le parti, cioè resta immobile nella sua situazione, come dimostrò Newton in un modo veramente semplice (*a*), per mezzo della costruzione seguente.

Sia *onrs* (*fig.* 79) la porzione di questo inviluppo, e sia *m* la molecola: supporremo che l' inviluppo attragga la molecola, perchè la dimostrazione si applica per se stessa all' ipotesi di una forza repulsiva. Per il punto *m* conduciamo due linee *bmc*, *gma*, che intercettino sull' inviluppo due archi infinitesimi *ab*, *cg*, che potranno prendersi in vece delle loro corde. Figuriamoci ora due porzioni simili e infinitesime dell' invi-

(*a*) *Philosophiae natur. Princip. mathemat.*, t. I. sect. XII., prop. LXX., teor. XXX.

luppo, che abbiano per diametri ab, cg: esse staranno fra loro come i quadrati di questi diametri; e poichè le attrazioni seguono la ragione diretta delle masse e l'inversa del quadrato delle distanze, saranno come $\frac{ab^2}{mb^2} : \frac{cg^2}{mg^2}$: ma per i triangoli simili mab, mcg abbiamo $ab : cg :: mb : mg$, ossia $ab^2 : cg^2 :: mb^2 : mg^2$; dunque $\frac{ab^2}{mb^2} = \frac{cg^2}{mg^2}$, cioè le attrazioni sono eguali. Se ora si supponga l'inviluppo diviso in un'infinità di piccole porzioni simili alle precedenti, le attrazioni di due fra quelle situate da due parti opposte saranno parimente eguali; e quindi la molecola m, che non è attratta più da una che da un'altra parte, resterà immobile.

La combinazione dunque delle azioni prodotte dalle molecole dell'inviluppo è tale, che se si immagina un piano tr che passi per la molecola attratta o respinta, e che tagli l'inviluppo in due parti necessariamente disuguali, le azioni della porzione minore tgr essendo in generale più vicine, e quelle della porzione maggiore tar esercitandosi a distanze maggiori, ne resulterà una compensazione esatta, che terrà in equilibrio la molecola sottoposta a queste azioni contrarie.

623. Ciò premesso, sia dato un corpo conduttore di figura sferica, e pieno di fluido libero o vitreo o resinoso, e supponiamo, se è possibile, che tutto sia in equilibrio. Dai due principii precedenti resulta, che non potrà sussistere tale equilibrio neppure per un momento, e che tutto il fluido sarà scacciato fuori della sfera.

Sia os (*fig.* 80) questa sfera: dividiamo col pensiero tutto il fluido in un'infinità di strati sottilissimi, che si inviluppino scambievolmente dal centro fino alla superficie, come vien rappresentato dalla figura, e consideriamo l'azione della sfera sopra una molecola m situata sulla superficie esterna di uno di questi strati, come den: la repulsione di tutto il fluido contenuto in questo strato e in tutti gli altri che son più vicini al centro, sarà eguale a quella di una sfera sopra una molecola situata sulla sua superficie. Dunque in conseguenza del primo principio, questa molecola e tutte quelle che sono alla stessa distanza dal centro, tenderanno ad allontanarsene e a uscire fuori della sfera; e quindi non potrebbe esistere verun ostacolo a questa tendenza, se non per parte degli strati compresi fra la molecola m e la superficie esterna os. Ma dal secondo principio rileviamo che le azioni di questi strati si distruggon fra loro, relativamente a una molecola posta più vicina al centro, dunque l'azione che si esercita dal di dentro al di fuori sussisterà interamente.

A misura che il fluido escirà dalla sfera, si formerà verso il centro di essa un voto, che sarà egualmente di figura sferica. Ciascuna molecola

situata in uno degli strati intermedii fra questo voto e l'ultimo strato, relativamente agli strati situati inferiormente, opererà come se fosse situata nell'interno di una sfera scavata; dal che si vede che l'azione dei primi strati proseguirà a spingerla lungi dal centro, e frattanto sarà nulla l'azione degli altri strati che tenderebbero a trattenerla: in tal caso escirà dalla sfera tutto il fluido che l'occupava in principio: e si spargerebbe indefinitamente nello spazio, se non fosse trattenuto dal contatto dell'aria circostante, la quale essendo isolatrice di sua natura, non potrà unirsi con esso, e lo terrà applicato e condensato intorno alla sfera, sotto la forma di sottilissimo strato.

Poichè l'equilibrio non potrebbe sussistere, non potrà neppure stabilirsi; e quindi il fluido libero appartenente a un corpo conduttore non ha altra maniera di distribuirsi, la quale si accordi con la legge della repulsione delle molecole, se non con lo spargersi sulla superficie dei corpi (36).

624. Questa teoria vien provata dall'esperienza. Si prenda una sfera scavata di metallo, sulla quale sia stata fatta un'apertura circolare di 2 o 3 centimetri di larghezza, e postala sopra un isolatore si metta in comunicazione con un conduttore, che poi si elettrizzerà. Anzi per evitare il sospetto di qualche combinazione favorevole alla superficie interna, la quale secondo la teoria non deve dare alcun segno d'elettricismo, si può stabilire una comunicazione fra questa superficie e il conduttore. Ritirando quindi la sfera, tenuta sempre sull'isolatore, si applichi sopra un punto della sua superficie interna un piccolo cerchio fatto di foglia di metallo, e fissato all'estremità di un lungo ago di gomma-lacca (*a*), e si presenti questo a un elettrometro delicatissimo che sia immobile. Se si applichi quindi sopra un punto della superficie esterna della sfera, quando venga presentato di nuovo all'elettrometro, produrrà in esso un moto visibilissimo; e se questo elettrometro è già elettrizzato,

(36) Le due esperienze citate dal Prof. Gazzeri in una lettera al March. Ridolfi, (*Antolog.* T.III, p.336) con le quali ha potuto caricare una boccia per mezzo di un conduttore metallico verniciato, o introdotto in una lastra di vetro, o fissatovi esattamente con cera, sembra che provino che il fluido elettrico penetri ancora nella sostanza dei corpi, poichè altrimenti il fluido elettrico non sarebbe potuto passare a traverso della vernice coibente che formava la superficie dei suddetti conduttori. Ma il fluido elettrico, come penetrantissimo, non potrebbe egli esser capace di passare per l'impercettibile intervallo fra la vernice e la superficie del conduttore? Mi pare che bisognerebbe riscontrare effettivamente elettrizzata una porzione della sostanza interna dei conduttori.

(*a*) Si può prendere questo cerchio in una foglia di stagno opportunamente tagliata.

indicherà nel piccolo cerchio un elettricismo della stessa specie di quello del conduttore che ha servito per elettrizzare la sfera.

625. Bisogna osservare di introdurre nella sfera e di ritirarne con la maggior prontezza possibile il cerchio metallico, facendolo passare per il mezzo dell'apertura, per impedire che non tolga qualche porzione dell'elettricismo che è accumulato sugli orli di questa apertura medesima. Potrebbe ancora accadere in tal caso, che questo elettricismo comunicasse un elettricismo di specie contraria all'ago di gomma-lacca, che resta isolato relativamente all'apertura, nel breve tempo in cui il cerchio metallico resta nell'interno; ma potremo assicurarci che questo elettricismo appartiene alla gomma-lacca, poichè prosegue a manifestarsi sull'elettrometro quando si tocca con la mano il cerchio metallico.

626 Ci sembra tanto importante questo fenomeno, che abbiamo creduto ben fatto di cercare un apparecchio che lo renda familiare a chiunque per la facilità di procurarselo. A tal oggetto si prende un bicchiere (*fig.* 81), e si guarnisce di foglia di stagno nell'interno e all'esterno, applicandola con una dissoluzione di gomma arabica, osservando di ritondar bene le estremità di questa foglia vicine agli orli del vaso: quindi si attacchi questo per la sua parte inferiore a un cannello *l* di cera di Spagna o di gomma-lacca, lungo alcuni centimetri, e fissato sopra uno zoccolo *x* di legno o di metallo.

Quando si vorrà far l'esperienza, si elettrizzerà per mezzo di confricazione un altro cannello di egual sostanza resinosa, e introdotto questo nella cavità del vaso, si terrà per un momento in contatto con la superficie interna, e si ripeterà più volte di seguito la stessa operazione, per far sì che il fluido resinoso eccessivo della cera o della gomma-lacca si versi senza interruzione nel piccolo vaso; e si compirà l'esperienza egualmente che nel caso precedente, servendosi dell'ago isolato, per riconoscere lo stato del piccolo cerchio metallico (*a*).

627. Questa parte di teoria ha servito mirabilmente a Laplace per fare un'applicazione delle formule, con cui determinò la figura della terra, la quale applicazione consiste nel far vedere, che ciò che si avvera di un corpo di figura sferica, in questo proposito, si avvera egualmente di tutte le ellissoidi di rivoluzione, dimanierachè il fluido elettrico deve pure portarsi tutto sulla superficie di questi corpi.

(*a*) Avendo a disposizione una macchina elettrica, si caricherà una boccia di Leida, e se ne immergerà quindi il bottone nell'interno del piccolo vaso, tenendola in mano per l'armatura esterna; e in tal maniera il fluido che si introdurrà nel vaso sarà l'elettricismo vitreo.

ESPERIENZE LE QUALI PROVANO CHE IL FLUIDO ELETTRICO NON HA VERUNA AFFINITA' PER UN CORPO, QUALUNQUE SIA LA NATURA DI ESSO.

628. In tutto ciò che abbiamo detto fin qui, abbiamo considerato il corpo, che si supponeva in principio pieno di fluido elettrico, come se non esercitasse verun' azione attrattiva su questo fluido, tanto per impedirgli di escire, quanto per equilibrare in seguito la resistenza che l'aria oppone alla sua dissipazione, quando circonda il corpo; e ciò ci guida a un nuovo resultamento che è strettamente connesso col precedente. Dicemmo (§. 595) che ogni corpo possiede per se stesso una certa quantità di fluido elettrico, composto di fluido vitreo e resinoso. Questa quantità che dipende dalla natura del corpo, resta come imprigionata nel suo interno, finchè i due fluidi sono neutralizzati in esso l'uno dall'altro; ma appena si sciolgono da questa neutralizzazione, perdono quella tendenza che avevano a restare nel corpo, e non obbediscon più che alla loro forza repulsiva scambievole (37). Che se nuovamente si riuniscano, il fluido composto che ne resulta entra di nuovo nel corpo, e resta fisso in quello come prima. E se un corpo riceva da qualche altra parte un aumento di elettricismo o vitreo o resinoso, questo si sparge sulla superficie del corpo stesso senza penetrar nell'interno; anzi sulla superficie stessa si trattiene soltanto per motivo dell'aria circostante, la quale come isolatrice non è atta a trasmetterlo. Quando parleremo dell'elettricismo nel voto, citeremo un'esperienza che conferma questa teoria.

629. Poichè il fluido elettrico libero d'un corpo non sembra avere alcuna affinità con esso, sarà del pari indifferente per qualunque corpo; sicchè se si ponga un corpo conduttore elettrizzato a contatto con un altro che sia nello stato naturale, la porzione di fluido libero che gli comuni-

(37) Si vede chiaramente quanto è più facile a concepirsi l'alterazione in più o in meno della quantità di fluido elettrico esistente in un corpo, di quello che la neutralizzazione di due sostanze diverse, la quale non si sa da qual forza effettiva possa esser prodotta, mentre sarebbe pur necessaria una forza per produrre questo doppio effetto di analisi e di sintesi.

In generale si vedrà che la spiegazione della maggior parte dei fenomeni, data secondo l'ipotesi di Symmer, riesce chiara secondo quella che noi adottiamo, col semplice cambiamento di frase o di vocaboli.

Che poi un corpo non abbia verun' attrazione per l'elettricismo, non sò con qual fondamento possa asserirsi, poichè esiste pure nei corpi, per comune opinione, la facoltà conduttrice e non conduttrice di questo fluido: ma la prima non è ella effetto di minore attrazione, come effetto d'assoluta attrazione è la seconda?

cherà, dipenderà soltanto dalla forma dei due corpi e non dalla natura di essi, come fu provato in un modo diretto da Coulomb con l'esperienza seguente (*a*). Si elettrizza la pallina d'ottone *x* (*fig.* 74), posta come dicemmo nella cassa di vetro ACDB, e dopo che essa ha respinto il cerchio dorato *a*, la torsione cresce di un certo numero di gradi, nasce la torsione totale, e si determina la distanza che ne resulta fra la pallina *x* e il cerchio *a*, quindi si mette subito a contatto la pallina d'ottone con un'altra di egual diametro e di materia diversa, come midollo di sambuco. Appena questa pallina vien ritirata, il cerchio dorato si situa a una distanza minore dalla pallina d'ottone, la quale ha perduto una porzione del suo fluido, e quindi della sua forza repulsiva: si indebolisce la torsione finchè il cerchio sia tornato alla stessa distanza, e in questo caso si trova che la torsione non è che la metà di quella che era la prima volta: dunque la forza repulsiva ancora è scemata della metà. Ma poichè le azioni elettriche seguono la ragion diretta delle masse, le quali nel nostro caso sono le quantità di fluido, e la ragione inversa del quadrato delle distanze, le quali in questo caso parimente sono eguali, e però le azioni sono semplicemente proporzionate alle quantità di fluido, ne segue, che nel secondo caso non restava alla pallina d'ottone se non la metà soltanto del suo fluido; sicchè la quantità primitiva si era distribuita egualmente fra questa pallina e quella di midollo di sambuco, perchè i due corpi erano eguali e simili.

630. Adunque nella comunicazione dell'elettricismo le superficie de corpi non fanno che servire in certo modo di ricettacolo al fluido elettrico, il quale sembra esser qui come assolutamente passivo, e non resta su questa superficie se non perchè l'aria gli impedisce di propagarsi. Ma quantunque il rapporto con cui il fluido elettrico si distribuisce fra i corpi non dipenda in verun modo dalla natura di quelli, da essa però dipende la quantità di tempo che il fluido impiega a distribuirsi, dimanierachè le facoltà conduttrici variano secondo le diverse qualità delle sostanze: così i metalli lo trasmettono molto più rapidamente del legno e della carta; e sotto questo aspetto l'azione del fluido elettrico è molto simile a quella del calorico. Se dunque si metta a contatto un corpo conduttore elettrizzato con un altro corpo parimente conduttore, ma in stato naturale, nella trasmissione del fluido dall'uno all'altro esisterà un termine, passato il quale, il primo cesserà di comunicare, e l'altro di ricevere; e questo termine sarà più o meno lontano, secondo che il corpo che riceve sarà migliore o peggior conduttore del fluido elettrico. Niun'altra differenza però si osserverà, se non che nella durata

(*a*) *Hist. de l'Acad. Royale des Sciences.* an. 1786, p. 67 e seg

della comunicazione, la quale relativamente alla quantità di fluido comunicato o ricevuto, si farà sempre senza alcuna preferenza per un corpo piuttosto che per un altro.

DELLA MANIERA CON CUI SI DISTRIBUISCE IL FLUIDO ELETTRICO, TANTO SULLA SUPERFICIE DI UN CORPO SOLO, QUANTO FRA DIVERSI CORPI A CONTATTO GLI UNI CON GLI ALTRI.

631. Coulomb fu il primo a fare una serie di ricerche sull'enunciato argomento; e operando ora sopra un corpo ora sopra molti a contatto fra loro, variò in questo ultimo caso il rapporto dei loro volumi, e in tutti i casi si servì a vicenda ora di sfere ora di cilindri. In tal modo questo argomento che fin allora era stato quasi sterilissimo per il progresso della scienza, è divenuto per lui un ramo di cognizioni fecondo di resultamenti tanto più degni d'osservazione quanto che erano nuovi, e quanto maggiore è stata l'esattezza con cui ha potuto ottenerli per mezzo dello strumento che egli stesso aveva inventato, strumento di una delicatezza proporzionata alla delicatezza delle esperienze, cioè quella stessa bilancia di torsione, già sperimentata sì utile per stabilire la legge a cui sono soggette le azioni elettriche.

632. Ma questi resultamenti non erano che effetti di osservazioni particolari, e mancava ancora non poco per giunger a una teoria, per mezzo della quale potesse rilevarsene la dipendenza e la connessione comune. Era riserbato a Poisson il giungere a questo scopo, generalizzare questi resultamenti, e presentarli con un'esattezza rigorosa per mezzo di una dotta analisi, che pochi geometri hanno saputo applicare con buon successo ad argomenti, ai quali sembrava che essa non potesse estendersi (*a*).

Fra i molti resultamenti che si deducono dalle sue formule, determinati in parte da Coulomb per mezzo dell'osservazione, ne esporremo soltanto alcuni dei più notabili ma dei più semplici, affinchè il pensiero possa con facilità seguirne l'andamento.

633. Già vedemmo che tutto il fluido elettrico il quale si suppone introdotto nell'interno di un corpo di figura sferica, o d'un'ellissoide di rivoluzione, ne esce subito per spargersi intorno alla superficie di questo corpo, dove è trattenuto dall'aria circostante. È chiaro che in questo caso la distribuzione sarebbe accaduta, come se la stessa quantità di fluido fosse stata immediatamente somministrata alla superficie del corpo.

(*a*) *Mémoires de la Classe des Sciences mathémat. et physiq. de l'Instit.*, an. 1811, I. part., p. 1 e seg.

634. Questa distribuzione varia al variar della forma del corpo, e deve sempre esser tale, che tutte le azioni elettriche che determinano lo stato di questo corpo, sieno in equilibrio. Ma la condizione di questo equilibrio è doppia, e dipende nel tempo stesso dal fluido che compone lo strato circondante, e dal fluido naturale che preesisteva nel corpo; cioè non basta che nello strato considerato separatamente le azioni scambievoli delle molecole elettriche si distruggano fra loro, ma non devono neppure esercitare verun' attrazione nè repulsione sopra due molecole riunite, una di fluido vitreo, l'altra di fluido resinoso, dovunque si prendano sulla massa del fluido naturale; poichè senza questa condizione, l'azione dello strato circondante decomporrebbe una porzione del fluido naturale, col che verrebbe a cambiarsi lo stato elettrico del corpo.

635. Supponiamo ora che il corpo, per esempio sferico, si ristringa gradatamente nella direzione di uno dei suoi diametri, allungandosi in conseguenza nella direzione d' un altro diametro perpendicolare a quello, sicchè dal concorso di queste due variazioni resulti una serie di ellissoidi, nelle quali il rapporto fra gli assi, che corrisponderanno ai due diametri citati, vada sempre crescendo.

636. E primieramente, per concepire in generale in qual maniera la distribuzione del fluido varierà nello strato che circonderà queste ellissoidi, quanto più saranno esse allungate, cominceremo dalla forma sferica, presa come termine di comparazione. Uno dei principii di cui ci siamo serviti per dimostrare che il fluido elettrico introdotto in un corpo di tal figura ne escirebbe subito, è che le azioni delle molecole di un inviluppo sferico sopra una molecola situata in un punto qualunque della sua cavità, si distruggono scambievolmente, supponendo che queste azioni sieno soggette alla legge della ragione inversa del quadrato della distanza. Che se invece di quell' inviluppo sferico, si supponga uno strato di fluido sparso intorno alla superficie della sfera che consideriamo, e invece della molecola di fluido libero situato in un punto interno dell' inviluppo, che chiameremo a, si suppongano due molecole riunite, una vitrea e l'altra resinosa, che faccian parte del fluido naturale della sfera stessa, facilmente si comprende che l'azione dello strato non agirà nulla su questa riunione, come non agirebbe su tutte l'altre molecole comprese nel fluido naturale.

Passando la sfera gradatamente alla forma d'una sferoide sempre più allungata, una porzione delle molecole dell'inviluppo si avvicinano al punto a in conseguenza del ristringimento, mentre un'altra porzione si allontana dal punto stesso in conseguenza dell' allungamento; quindi è che l'azione delle prime sul punto a va crescendo, mentre scema

l'azione delle seconde. Perchè dunque venga a stabilirsi la compensazione richiesta dalla condizione dell'equilibrio, bisognerà che il fluido compreso nella porzione dell'inviluppo vicina all'estremità dell'asse maggiore dell'ellissoide, sia più condensato di quello della porzione situata vicino all'asse minore, sicchè il rapporto fra le due densità crescerà contemporaneamente a quello che esiste fra gli assi.

637. Vediamo ora cosa potevamo apprendere dalla sola teoria. Lo strato di fluido che circonda la superficie del corpo, e che tende a fuggire in virtù della repulsione scambievole delle sue molecole, non è qui trattenuto se non dalla reazione dell'aria circostante, che si modella in certo modo sulla superficie dello strato che è a contatto con essa. E poichè questo strato varia in grossezza secondo i differenti punti della sferoide, varierà pure la pressione che esso esercita contro l'aria circostante. Ma si sa dalla teoria che questa pressione, osservata in qualunque punto della superficie della sferoide, è in ragion composta della forza repulsiva delle molecole elettriche e della grossezza dello strato nel punto stesso; e perchè ciascuno di questi due elementi è proporzionato all'altro; ne segue che la pressione contro l'aria è dovunque proporzionata al quadrato della grossezza dello strato, o della quantità d'elettricismo da cui essa dipende. Ma poichè questa pressione è maggiore alle estremità dell'asse maggiore che in qualunque altro punto, e la sua intensità va sempre crescendo quanto più si allunga la sferoide, esisterà pur un termine in cui essa vincerà la resistenza dell'aria, e in cui sulle molecole che l'esercitano accaderà un effetto simile a un'esplosione, sicchè esse fuggiranno l'une dopo l'altre, e penetreranno nel fluido circostante, finchè la forza repulsiva di quelle che resteranno faccia equilibrio alla reazione di questo fluido.

638. Le azioni scambievoli di due o più corpi elettrizzati, presentati gli uni agli altri, che erano state per Coulomb il soggetto di una moltitudine di esperienze variate, come già dicemmo, in seguito aprirono a Poisson un campo più vasto per estendere e moltiplicare le applicazioni del calcolo analitico. Questo illustre geometra si trovò a fare il paragone fra i resultamenti ottenuti da una parte e dall'altra, nel caso in cui con le sue ricerche concorreva verso il medesimo scopo; e ognuno può supporre quanto doveva essere importante per lui questo paragone, il quale gli faceva vedere in quelli che lo precedettero una verificazione anticipata di una teoria, la quale non si è presentata se non dopo l'intervallo di venticinque anni.

639. Poisson, nella soluzione dei problemi relativi al nuovo punto di vista sotto il quale riguardava questo argomento, era partito da un principio analogo a quello di cui si era servito per stabilire il modo con

cui il fluido elettrico era distribuito sulla superficie di un solo corpo; cioè, se si mettano in presenza gli uni degli altri più corpi conduttori elettrizzati, e se essi giungano a uno stato elettrico permanente, bisognerà in tal caso che la resultante delle azioni esercitate dagli strati elettrici che le ricoprono, sopra qualunque punto interno di uno di questi corpi, sieno eguali a zero.

Qui pure esamineremo il caso più semplice soltanto, che è quello di due sfere sottoposte all'azione l'una dell'altra, e principieremo dal fare alcune osservazioni generali, per disporre lo spirito a comprender meglio i resultamenti derivati tanto dal calcolo analitico quanto dall'esperienza.

640. Il solo raziocinio basta a farci comprendere, che quanto più cresce la differenza fra i diametri delle due sfere, deve pur crescere il rapporto fra le quantità di fluido comprese fra gli strati che le circondano. Supponendo infatti che le sfere sieno a contatto l'una dell'altra, bisognerà, perchè esista l'equilibrio fra le due quantità di fluido, che la forza repulsiva esercitata fra le molecole di ciascuna su quelle dell'altra, equilibri lo sforzo che fanno queste ultime, in virtù della repulsione loro scambievole, per slontanarsi l'une dall'altre, andando verso il punto di contatto Ciò premesso, figuriamoci che la sfera minore scemi a un tratto di volume: le molecole dello strato che la circonda, si avvicineranno a quelle che corrispondono ad esse nell'altro strato; e quindi la repulsione loro scambievole trovandosi accresciuta, le spingerà verso i punti opposti a quello del contatto. Ma un'altra causa, cioè la diminuzione di superficie della piccola sfera, obbligherà le molecole del suo strato circondante a ristringersi ancora di più; sicchè la forza repulsiva delle molecole dell'altro strato non sarà più bastante a far equilibrio all'aumento d'energia che esse hanno acquistato per slontanarsi l'une dalle altre. Perchè dunque si trovi nuovamente stabilito l'equilibrio, dovrà pure esser aumentata la quantità di fluido di cui è composto il medesimo strato. Con un ragionamento simile si proverà, che quanto più la sfera minore scemerà di volume, tanto più dovrà crescere la quantità di fluido sparso sulla sfera maggiore; quindi è che il rapporto fra le due quantità e quello delle superficie delle due sfere crescono nel tempo stesso (38).

(38) Conservando il raziocinio di questa utile dimostrazione, si può eliminare l'idea moltiplice di tante forze ipotetiche in essenza e in azione; e mi sembra che molto più semplice e più chiara resulti la spiegazione di questo fatto, sostituendo l'idea della tendenza che ha all'equilibrio l'elettricismo di due corpi elettrizzati uno positivamente e l'altro negativamente, posti nella sfera d'attività l'uno dell'altro; il qual equilibrio deve stabilirsi naturalmente in proporzione dell'estensione delle due disuguali superficie dei corpi stessi.

Digitized by Google

641. Vediamo ora a quali resultamenti sieno giunti questi due Fisici per vie differenti, paragonando gli stati elettrici di queste sfere. È chiaro che la distribuzione del fluido elettrico non può essere uniforme sopra ambedue; e quindi Poisson ha date certe formule con le quali si può calcolare la densità dello stato elettrico su ciascun punto dell'una o dell'altra, ed ha inoltre stabilito comparativamente il modo con cui il fluido è distribuito su queste superficie; e le osservazioni più notabili che gli ha suggerite questo paragone, sono relative a ciò che accade nel contatto delle due sfere e verso i punti opposti. La teoria dimostra il resultamento che già era stato trovato da Coulomb per mezzo dell'esperienza, cioè che l'elettricismo è nullo nel primo punto, e che vicino agli altri due, lo strato elettrico che copre la superficie della sfera minore, è più denso dello strato corrispondente sulla superficie della sfera maggiore; e il rapporto fra queste due densità cresce a proporzione che scema il rapporto della sfera minore. Ma questo aumento non prosegue che fino a un certo limite, in cui è rappresentato presso a poco dal rapporto di 4, 2 : 1; e Coulomb dalle sue esperienze aveva concluso che era eguale a 4, più una frazione che non aveva indicata.

642. Poisson ha cercato ancora di determinare il rapporto delle densità medie dei fluidi sparsi sulle superficie delle due sfere, le quali densità son quelle che avrebbero luogo nel caso in cui i fluidi fossero distribuiti uniformemente su queste superficie.

Ma poichè se si separassero le due sfere, ciascuna porterebbe con se il fluido di cui fosse coperta, così per rendere questa distribuzione uniforme, basta slontanare le sfere stesse l'una dall'altra in modo, che non abbiano più fra loro azione veruna. E di questo mezzo in fatti servendosi Poisson per ottenere il suo intento, trovò che il rapporto delle densità era sempre minore di quello delle superficie; e che quanto più il raggio della sfera minore era diverso da quello della maggiore, lo stesso rapporto cresceva in una progressione sempre minore, il limite della quale era rappresentato dal rotto $\frac{3}{2}$. Coulomb che non aveva potuto determinare esattamente tal rapporto, aveva congetturato che fosse quasi eguale a 2, cioè circa $\frac{1}{6}$ meno di quello trovato da Poisson col calcolo analitico.

643. Se in vece di slontanare a un tratto le due sfere l'una dall'altra, fino alla distanza in cui l'azione loro reciproca sia distrutta, si facciano muovere a poco a poco in parte contraria, nell'intervallo situato al di qua di questa distanza, lo stato elettrico della minore varia tanto più notabilmente, quanto più il fenomeno che ne resulta è distinto per certi caratteri particolari da tutti quelli che abbiamo descritti fin ora.

Abbiamo detto che l'elettricismo era nullo nel punto di contatto

delle due sfere: supponendo ora che esse si slontanino a poco a poco l'una dall'altra, si troverà in questo moto un punto, in cui la parte della sfera minore situata verso il primitivo contatto, avrà acquistato l'elettricismo resinoso: in un punto più lontano, l'elettricismo sarà nullo, e la parte stessa tornerà nello stato naturale; in un altro punto ancor più lontano ricomparirà l'elettricismo, ma sarà vitreo.

644. Nello spiegare questo fenomeno considereremo soltanto i due punti che corrispondono ai due termini estremi, astraendo per ora dal termine intermedio. Appena le due sfere si sono scostate, trovandosi scemata la repulsione scambievole degli strati che le ricoprono, il moto che questa diminuzione produce nelle molecole elettriche che compongono questi strati, cambia lo stato elettrico di ciascuna sfera. Fin da questo momento le azioni che le molecole stesse esercitavano sui punti interni delle sfere non più si distruggono scambievolmente, dimanierachè la resultante di quelle, che era zero, è diventata una quantità positiva. Dal cambiamento che accade nella indicata parte della sfera minore si comprende, che essa, a una certa distanza dall'altra sfera, passa a un nuovo stato in virtù dell'attrazione del fluido vitreo, sparso intorno alla sfera maggiore, sul fluido resinoso proveniente dal fluido naturale della sfera minore medesima. Continuando essa il suo moto, lo strato di fluido che la circonda essendo respinto con forza minore da quello della sfera maggiore, si estende verso la parte indicata di sopra, in virtù della sua tendenza verso una distribuzione uniforme, e in fine giunge a coprirla o a toccarla tanto da vicino, che le trasmette la sua proprietà elettrica, l'azione della quale è vitrea.

Intanto, fra il termine a cui corrisponde l'elettricismo resinoso acquistato dalla piccola sfera nel punto in cui accadeva il contatto, e quello a cui corrisponde l'elettricismo vitreo che è succeduto al precedente, e che è l'estremo opposto, esiste un punto neutro in cui l'azione diviene zero; e a questo termine appunto è giunta la sfera minore, quando si trova nello stato naturale. Questo punto è l'analogo dello zero che si trova in tutti i passaggi delle quantità negative alle quantità positive (39).

(39) Dunque la variazione di stato d'un corpo o il suo passaggio da uno stato elettrico a un altro, deve naturalmente accadere passando per il punto zero; e questa idea è naturalissima nella supposizione d'una quantità di fluido elettrico, che dall'eccesso deve scemare fino al difetto, o dal difetto passare all'eccesso, e sempre gradatamente e successivamente, quantunque con una successione rapidissima. Con la nostra ipotesi dunque è ben più facile la spiegazione di questo fenomeno.

Digitized by Google

645. In un'esperienza d'un altro genere, Coulomb ha disposto sopra una stessa linea alcuni globi coperti di foglia di metallo, e a contatto gli uni con gli altri, e ha cercato con qual legge il fluido si distribuiva fra questi diversi globi affinchè le loro forze fossero in equilibrio (a); e con tal fine ha impiegati fino 24 globi, tutti dello stesso diametro. Si vede chiaramente che, supponendo tutti questi globi elettrizzati, esiste eguaglianza fra le tensioni o densità elettriche dei due globi estremi, e che del pari le densità dei due globi, egualmente distanti dagli estremi, sono eguali fra loro: si vede ancora che la densità di ciascun globo estremo deve essere maggiore di quella dei susseguenti, poichè esso solo fa equilibrio a tutti gli altri, mentre il secondo, per esempio, è aiutato dal primo, per equilibrare l'azione di tutti quelli che sono dopo di lui. Ora è tale la legge con cui scema la densità, principiando dai globi estremi, che questa diminuzione è rapidissima relativamente ai globi che son più vicini agli estremi, come il secondo e il terzo da ciascuna parte, e che quindi la densità scema sempre più lentamente fino al punto di mezzo in cui essa è nulla. Questa diseguaglianza fra le forze dei varii globi, è una conseguenza della ragione inversa del quadrato della distanza, da cui deriva in ciascun globo la quantità di fluido necessario, perchè l'azione di questo globo sia in equilibrio con quella di tutti gli altri.

646. Dai precedenti resultamenti Coulomb ha dedotta la maniera con cui il fluido elettrico vien distribuito sui diversi punti della superficie d'un cilindro. Varia questo dall'estremità fino al mezzo, quasi nello stesso rapporto che sopra una fila di globi eguali; e si osserva in ciò tanta somiglianza, appunto perchè il fluido è disposto intorno ai varii globi in formà di zone fra i punti di contatto, dopo i quali la densità è quasi nulla fino a una certa distanza, per la gran forza repulsiva che opera in questi punti; ma sul primo e sull'ultimo globo, il fluido circonda l'emisfero opposto a contatto col globo vicino; per la qual cosa la distribuzione del fluido diviene quasi eguale a quella che si fa sul cilindro, potendo considerarsi la superficie di questi corpi come composta di una serie di fasce anulari comprese fra due emisferi.

Che se si faccia l'esperienza con cilindri più lunghi e più sottili, la densità elettrica dei punti situati verso le estremità, cresce relativamente a quella dei punti intermedii; e supponendo un cilindro sottilissimo, fissato sopra un gran globo elettrizzato, che eserciti un'azione favorevole all'aumento di densità che deve aver luogo all'estremità opposta, perchè la forza del fluido situato a questa estremità deve fare

(a) *Historie de l'Académie des Sciences.* An. 1788. p. 617.

equilibrio a quella di tutto il resto del fluido sparso tanto sul cilindro quanto sul globo, la densità diverrà tanto considerevole, che supererà la resistenza opposta dall'aria alla trasmissione dell'elettricismo; e con questo mezzo appunto Coulomb spiega il potere che hanno i corpi terminati in punta per lanciare rapidamente il fluido elettrico. La spiegazione che noi adotteremo, poichè può maggiormente svilupparsi per mezzo del raziocinio, non è che una maniera diversa di concepire la stessa combinazione di azioni.

Della legge con cui i corpi isolatori perdono a poco a poco il proprio elettricismo.

647. Nei corpi isolatori accade tutto il contrario che nei corpi conduttori, poichè in questi quando il fluido naturale viene scomposto dall'azione delle cause di cui parleremo fra poco, i suoi due principii si spargono subito all'esterno; mentre quando il corpo è isolatore, i due principii componenti restano nel suo interno, ancora dopo essersi separati l'uno dall'altro, e con moti contrarii si distribuiscono in due parti opposte di questo corpo. Questi moti non si eseguiscono che con una certa difficoltà, la quale deriva dalla resistenza delle molecole proprie del corpo; sicchè quando cessa la causa che aveva scomposto il fluido, la riunione dei due principii che fa tornare il corpo nel suo stato naturale, non si effettua parimente se non con qualche lentezza. Questa resistenza è stata paragonata alla confricazione che un corpo isolatore oppone al moto del fluido nel suo interno, ed è stata chiamata *forza coibente*; gli effetti della qual forza si osservano principalmente nei corpi che si elettrizzano per via di calore, come vedremo in seguito.

In tutto questo però supponiamo purissima la sostanza di un corpo; ma bene spesso si trovano alcune molecole conduttrici interposte fra le molecole isolatrici dei corpi, per la qual cosa gli effetti son sempre un poco composti degli effetti dei corpi dell'una e dell'altra specie.

648. Esporremo dunque alcune altre ricerche di Coulomb relative a un soggetto importantissimo per quelli che volendo fare certe esperienze elettriche, desiderano farle con la maggiore esattezza possibile. Perchè le esperienze di fisica in generale sieno paragonabili, devono farsi in tali circostanze che le condizioni sieno sempre le stesse: così se per esempio la temperatura contribuisce alla quantità e qualità degli effetti, si deve allontanare questa causa di alterazione, o conservando un grado costante di caldo o di freddo, oppure tenendo conto della variazione; come pure quando ci serviamo d'un corpo elettrico

successivamente, per vedere diversi effetti che vogliamo paragonare fra loro, lo stato del corpo deve riguardarsi come permanente; e poichè ordinariamente non è tale, perchè nell'intervallo da un'operazione ad un'altra il corpo perde sempre una quantità del suo elettricismo, bisogna cercare qualche mezzo per calcolare questa perdita, e calcolarla nell'effetto che si ottiene infine.

E questa perdita può derivare da due cause, cioè o dal contatto dell'aria circostante, la quale o più o meno è sempre carica di molecole umide, o dagli isolatori i quali non isolano mai perfettamente. Coulomb ha potuto separare le azioni di queste due cause, le quali operano nel tempo stesso, e rendono l'esperienza indipendente dalle variazioni di quelle (*a*).

649. In quanto alla causa che proviene dall'aria, prendendo egli da una parte la forza elettrica perduta dal corpo in un tempo dato, come 10 minuti, e dall'altra la forza media che resulta dalla differenza fra le forze al principio e al fine dell'esperienza, divisa per il numero dei minuti, ha trovato che il rapporto fra quelle due forze è un rapporto costante per un medesimo stato dell'aria, per la qual cosa si possono paragonare fra loro diversi effetti per mezzo delle forze medie che corrispondono alle diverse durate delle esperienze.

650. Restava a considerarsi la perdita di elettricismo per parte dei sostegni isolatori. Coulomb per mezzo delle sue esperienze relative a questo soggetto ha rilevato, che quando è molta la densità elettrica del corpo, la diminuzione prodotta nel tempo stesso dall'aria e dai sostegni, segue un progresso più rapido di quello che deriva dal solo contatto dell'aria; ma da che la densità si trova indebolita, il sostegno non contribuisce quasi più nulla a indebolirla maggiormente; dimanierachè servendosi fin da principio di un corpo di densità elettrica moderata, basta considerare soltanto ciò che si perde per il contatto dell'aria.

651. Ma questa specie di resistenza del sostegno a trasmettere il fluido elettrico, non può riguardarsi come assoluta se non per il solo tempo che basta ordinariamente per l'esperienza: non esiste però sostegno tanto isolatore, che la sua sostanza non sia mescolata con particelle conduttrici; e appunto per la lentezza con cui il fluido passa per gl'intervalli di queste, la densità elettrica del corpo che è posato sul sostegno, non prova che piccolissime perdite in uno spazio di tempo più o meno limitato; e però facendo più lungo il sostegno, si accresce il numero degli intervalli che il fluido deve percorrere prima di giungere ai corpi circo-

(*a* *Histoire de l'Académ. Royale des Scienc.*, An. 1785, p. 612.

stanti. Quindi è che data la lunghezza del sostegno, il quale isoli quanto basti un corpo di densità parimente data, se si voglia far uso di un altro corpo carico di un più denso elettricismo, si potrà ottenere un isolamento perfetto quanto il primo, prendendo un sostegno più lungo. Coulomb ha trovato che, essendo costante lo stato dell'aria, le lunghezze dei sostegni dovevano essere in ragione dei quadrati delle densità elettriche; quindi per un altro corpo di densità doppia del primo, è necessario un sostegno quattro volte più lungo di quello che isolava il primo corpo suddetto.

Suddivisione dei corpi naturali dedotta dai differenti gradi della forza coibente.

652. L'aspetto nel quale siamo per considerare la forza coibente, è diversissimo da quello alla considerazione del quale tendevano le ricerche di Coulomb, per render visibili gli effetti delle cause che tendono a far variare i resultamenti di molte esperienze successive, dirette ad un medesimo scopo. Dopo aver paragonati fra loro i corpi naturali che sono isolatori più o meno perfetti, abbiamo creduto di poterli suddividere in tre classi, in conseguenza di ciò che accade quando dopo averli confricati si mettono a contatto con corpi conduttori. Abbiamo avuto riguardo a due azioni di questi conduttori medesimi, cioè quella che si esercita nel primo momento del contatto, e quella che si estende a tutti gl' istanti successivi. A tutto rigore la forza coibente varia da un corpo ad un altro con una gradazione non interrotta; ma osservando questa gradazione, abbiamo potuto rilevare che i suoi differenti termini tendevano verso certi limiti, dai quali potevamo dedurre certi caratteri distintivi fra i corpi delle tre classi che ora indicheremo.

653. La prima comprenderà i corpi che sono più dotati di quella proprietà che chiameremo *facoltà conservatrice dell' elettricismo*, cioè che nel primo momento non cedono ad un conduttore, con cui sieno messi a contatto, se non una quantità leggerissima o forse ancora insensibile del proprio fluido, quantunque si lascino in comunicazione con i corpi circonvicini. Tali sono lo spato d'Islanda e il topazio senza colore.

654. Porremo nella seconda classe quei corpi che posseggono questa facoltà conservatrice in grado medio; e questi sono quelli che nel caso citato di sopra, cedono una quantità notabile del proprio fluido, che chiameremo *fluido eccedente*, e non perdono il resto se non che molto lentamente, ma però in un tempo minore che quelli della prima classe, supponendo sempre che sieno in comunicazione con i corpi circostanti. Tali sono l'ambra e la cera di Spagna. I corpi che apparten-

gono alla terza classe sono quelli che posseggono molto debolmente la facoltà conservatrice, o che fin dal primo contatto cedono una quantità maggiore o minore del proprio fluido, non conservando il resto che per pochissimo tempo. Tali sono il cristallo di monte ed il vetro.

655. È facile verificare con l'esperienza gli effetti che resultano nel primo istante. A tal oggetto si può far uso dell'elettroscopio resinoso rappresentato dalla *figura* 76, lasciando nello stato naturale l'ago metallico che fa parte di quello. Si prende fra le dita un topazio senza colore, si frega, e si tocca a più riprese con la porzione della superficie confricata uno dei globetti che sono alle estremità dell'ago, e quindi si fa muovere fino ad una certa distanza dallo stesso globetto, che è subito attratto come se per la prima volta gli fosse presentato il topazio; dal che deve concludersi, che esso non ha ceduto all'ago veruna quantità sensibile del suo fluido, come ancora più chiaramente si prova accostando un dito all'ago, poichè in questo caso l'ago stesso non farà alcun moto per portarsi verso il dito, o il moto che farà sarà insensibile (*a*).

Se ora invece del topazio si faccia uso di un cannello di cera di Spagna, operando nella stessa maniera, il piccolo ago sarà fortemente respinto, perchè il cannello di cera gli avrà ceduto una quantità notabile del fluido eccedente; e con questo mezzo medesimo si fa passare l'ago dallo stato naturale a quello di elettricismo resinoso, come abbiamo detto di sopra. Si otterrà lo stesso effetto o con un pezzo di cristallo di monte o con una lastra di vetro.

656. Dobbiamo ora considerare ciò che accade negl' istanti successivi, finchè i corpi abbiano perduta interamente ogni virtù elettrica. In questo intervallo noi li lasciamo a contatto con un corpo metallico, il quale è pure in comunicazione con i corpi circostanti; e con questo mezzo possiamo avere una sufficiente misura della resistenza, che i corpi sperimentati oppongono allo sforzo che fanno le loro molecole per allontanarsi, in virtù della loro scambievole forza repulsiva. Addurremo due soli esempii relativi alla prima classe, il primo dei quali è stato da noi osservato in una gran lastra staccata per mezzo di divisione meccanica da un cristallo di topazio del Brasile senza colore, ciascuna dimensione del quale era 35 millimetri o 15 ½ linee in circa. L'avevamo applicato per la superficie confricata a una lastra di rame, dalla quale pendeva una catenella di ottone che era in comunicazione coi corpi circostanti, e non cessò di dar segni d'elettricismo, se

(*a*) Questa esperienza non riesce perfettamente se non in un tempo molto asciutto.

non dopo 145 ore. L'esperienza fu fatta in un'aria asciuttissima. Avendo posti in seguito in uguali circostanze alcuni romboidi di spato d'Islanda, hanno essi proseguito a dar segni di elettricismo per più giorni, e uno specialmente proseguì per undici giorni in un tempo favorevole.

657. Nè meno deve notarsi la resistenza che i medesimi romboidi opponevano all'azione d'un'aria umida. Il 20 dicembre 1819, giorno in cui regnava un'umidità straordinarissima, l'elettroscopio vitreo che abbiam descritto di sopra essendo stato portato sopra una scala, dove tutto indicava un'aria estremamente carica di vapore acquoso, la piccola sbarra di spato che ne è il pezzo principale, divenne considerevolmente elettrica per via di pressione, e perseverò in questo stato per due ore.

Alcuni giorni dopo, De Monteiro dotto portoghese, distinto per la varietà ed estensione delle sue cognizioni, mi suggerì l'idea di immergere nell'acqua un romboide del medesimo spato, dopo averlo elettrizzato per confricazione. L'immersione non gli fece perdere che una piccola porzione del suo elettricismo, come chiaramente si conobbe quando, dopo averlo ritirato, si vide esercitare tuttora un'attrazione notabilissima sopra un ago non isolato a cui fu avvicinato. Osservammo che la sua superficie era rimasta asciutta nell'immersione, se non che la parte che era escita l'ultima dall'acqua ne portò seco una goccia che ritenne sospesa. Abbiamo ripetuto più volte questa esperienza col medesimo effetto, elettrizzando per via di pressione il romboide prima di immergerlo nell'acqua; e appunto per questa specie di indifferenza per questo liquido, quando lo spato è circondato da un'aria umida, la quale tanto nuoce fino dal primo momento agli ordinarii apparecchi, il vapore non opera sopra di esso se non molto lentamente, e non giunge a togliergli la sua facoltà se non penetrandolo a poco a poco e insensibilmente. Abbiamo fatto la prova sopra altre sostanze capaci di elettrizzarsi per via di pressione, benchè più debolmente, come la calce fluata e l'euclasio, e abbiamo osservato che l'acqua in cui queste si immergevano, non aveva avuto alcuna tendenza per aderire alla superficie di quelle, sicchè esse proseguivano ad attrarre un ago non isolato.

658. Passiamo alla seconda classe che comprende molte sostanze, come la gomma lacca e la cera di Spagna, le quali possono servire di sostegni nella costruzione dell'elettroscopio resinoso. Nello studiare gli effetti che esse producono, abbiamo avuto la soddisfazione di trovare che in questo apparecchio esse fanno comparire di nuovo, benchè per una causa diversa, il vantaggio che ha l'elettroscopio vitreo, di assicurare l'esito dell'esperienza, a motivo dell'energia della sua facoltà conservatrice. Questa causa deriva dal carattere che distingue i corpi della seconda classe, ed è che dopo essere essi stati confricati, cedono ai corpi

conduttori a contatto con loro una porzione considerevole del proprio fluido, e non perdono il resto se non lentamente. Ne segue dunque che la cera di Spagna, la quale è la materia più comune di cui ci serviamo in due modi per i nostri elettroscopii resinosi, come diremo fra poco, è dotata in parte della proprietà conduttrice e in parte della proprietà isolatrice.

Quando dunque per mettere di nuovo in attività l'elettroscopio resinoso *osn* (*fig.* 76), si tocca uno dei globetti che sono alle estremità dell'ago, con un cannello di cera lacca elettrizzato per confricazione, l'ago, indipendentemente dalla quantità di fluido necessario per caricarlo, ne riceve una nuova quantità che passa nel sostegno di egual materia, in ragione della sua proprietà conduttrice, e che come isolatore non trasmette ai corpi circonvicini. Possiamo assicurarci di quanto abbiam detto, toccando varii punti della superficie del sostegno con un capo di spillo isolato; e presentando questo spillo ad un ago nello stato naturale, questo sarà attratto, e presentandolo invece ad un apparecchio resinoso moderatamente caricato, sarà respinto.

L'ago in seguito cedendo una porzione del suo fluido all'aria con cui è a contatto, il sostegno gliene restituisce una porzione di quello che aveva ricevuto da esso; e questa facoltà che ha l'ago di riparar le sue perdite, prolunga più o meno la durata del suo potere elettrico.

Questa durata è stata di un'ora e mezza circa, nelle esperienze del 20 novembre 1819, in un'aria soprassaturata di umidità, per mezzo delle quali abbiamo potuto spiegare gli effetti che abbiamo esposti di sopra; e se questi si uniscano a quelli avuti dall'elettroscopio vitreo, si vedrà chiaramente che il fisico ottiene il medesimo intento da ciascuno dei due apparecchi, i quali ad ogni momento sono adattati all'uso che vogliamo farne.

659. Fra i corpi della terza classe il quarzo e il vetro sono fra quelli che sono meno dotati della facoltà conservatrice; e in questi gli effetti non durano più d'un quarto di ora, in tempo asciutto. Siamo restati molto maravigliati nel vedere che relativamente a tal proprietà il diamante ancora entra in questa classe, poichè l'azione di un'aria umida rende in esso questa proprietà molto passeggiera. Abbiamo trovato alcuni pezzi di quarzo senza colore lucenti e trasparenti nel tempo stesso, e che nondimeno nel caso citato di sopra, non davano verun segno di elettricismo, quantunque confricati per molto tempo; ed era questo, per così dire, lo zero assoluto della facoltà conservatrice.

Digitized by Google

Effetti diversi degli elettricismi combinati di due corpi.

660. Nel far le esperienze con due corpi soggetti alla loro reciproca azione, è stata osservata una gran diversità nei resultamenti, diversità che dipende dalla natura di ciascun corpo, e dalla specie d'elettricismo di cui è rivestito. Può accadere, per esempio, che i corpi sieno o tutti e due conduttori, o tutti e due isolatori, o uno conduttore, isolatore l'altro; e gli elettricismi acquistati da questi corpi saranno ora omogenei ora eterogenei. Può ancora variare la maniera di far l'esperienza, secondo che i due corpi son sospesi liberamente, o uno è mobile e l'altro fisso, o l'uno in libertà di muoversi, e l'altro mosso da un'azione meccanica, come quando se ne tiene uno in mano, avvicinandolo verso l'altro.

L'osservazione di questi diversi resultamenti, e l'indicazione dei mezzi semplici e decisivi coi quali possono verificarsi, è tanto più utile, quanto che essi non son altro che i diversi aspetti nei quali o a vicenda o contemporaneamente si presentano i due principali fatti, la spiegazione dei quali dà la chiave di quasi tutta la teoria dell'elettricismo, cioè la repulsione dei fluidi omogenei, e l'attrazione dei fluidi eterogenei.

Per andar con ordine, principieremo dalla circostanza in cui i due corpi essendo nello stato naturale, le azioni dei loro fluidi si distruggono reciprocamente.

EQUILIBRIO DI DUE CORPI NELLO STATO NATURALE.

661. Indichiamo con A e B due corpi in stato naturale, e limitiamoci a stabilire soltanto la maniera con cui A opera sopra B, perchè ogni azione in questo caso è reciproca. Il corpo A esercita sul corpo B quattro azioni differenti, che derivano dalle repulsioni dei suoi due fluidi sui fluidi omogenei di B, e dalle loro attrazioni sui fluidi di natura diversa; e facilmente si prova che l'equilibrio dipende dall'eguaglianza di queste quattro azioni.

Chiamiamo V il fluido vitreo di A, R il suo fluido resinoso, v il fluido vitreo di B, r il suo fluido resinoso. Da quanto abbiamo detto si vede che 1.° V attrae r, 2.° R respinge r, 3.° R attrae v, 4.° V respinge v: ma le due prime forze sono eguali fra loro, poichè se r fosse attratto da V più o meno che respinto da R, si metterebbe in moto, lo che è contro l'ipotesi dell'equilibrio: le ultime due forze sono parimente eguali per la stessa ragione, cioè perchè v è tanto attratto da R quanto respinto da V.

Inoltre la terza forza è eguale alla prima, cioè quanto V attrae r, altrettanto R attrae v; poichè quanto maggior numero di molecole attratte son contenute da r, ossia quanto r ha più massa, tanto maggiore è lo sforzo con cui r si porta verso V: dall'altra parte quanto maggior numero di molecole attraenti contiene V, tanto maggior celerità ha ciascuna molecola di r per portarsi verso V: dunque la quantità di moto che misura l'effetto totale con cui r si porta verso V, è rappresentata dal prodotto $r \times V$. Sostituendo v ad r, e R a V, si proverebbe con un ragionamento simile, che lo sforzo totale con cui v si porta verso R, è espresso dal prodotto $v \times R$.

E poichè i fluidi sono neutralizzati l'uno dall'altro in ciascun corpo, ne segue che le quantità dei fluidi V e v son proporzionate alle quantità dei fluidi R ed r, cioè si ha $r \times V = v \times R$.

Frattanto, poichè di queste quattro forze tre sono eguali fra loro, e sussiste l'equilibrio, è evidente che la quarta forza è eguale a ciascuna delle altre tre; e appunto per l'eguaglianza fra le quattro forze, i due corpi non hanno verun' azione l'uno sull'altro, finchè sono nello stato naturale (40).

Azione scambievole di due corpi che hanno elettricismo omogeneo.

662. Se supponiamo primieramente due corpi, ciascuno dei quali sia elettrizzato da una certa quantità d'elettricismo vitreo o resinoso che gli sia stato trasmesso, subito si vede che cosa deve accadere; poichè questo principio, che i corpi rivestiti di eguale specie di elettricismo si respingono, e di diversa specie si attraggono, non è, per così dire, che la traduzione letterale di questo altro principio fondamentale, che le molecole di ciascuno dei fluidi componenti, operano l'une sull'altre con forze

(40) Ammettendo due fluidi elettrici diversi è ingegnosissimo questo raziocinio di quattro forze; ma ammettendo un solo fluido elettrico, quanto è più naturale la spiegazione di questo equilibrio! Esso è tanto naturale che sembra piuttosto inutile una dimostrazione diretta, e superflua una indiretta. Finchè nulla non altera la disposizione delle molecole d'un corpo, nulla non altera l'attrazione di esso per l'elettricismo che contiene; e quindi più corpi vicini fra loro quanto si voglia, non eseiranno mai dal loro stato naturale, perchè manca una causa perturbatrice: dunque l'elettricismo di niuno di essi non sarà posto in grado d'essere nè rigettato nè assorbito, d'essere respinto nè attratto: dunque sussisterà il naturale equilibrio relativo, quando nulla non lo disturbi per produrre un equilibrio assoluto.

repulsive, ed esercitano forze attrattive sulle molecole dell' altro fluido (41).

(41) Non è poi tanto letterale questa traduzione; anzi passa grandissima differenza fra il dire che due corpi in un tale stato o circondati da una tal materia si attraggono o si respingono, e il dire che si attraggono o si respingono queste tali materie che li circondano. Vediamo se in seguito delle dimostrazioni di Volta si possa dare una più probabile spiegazione dell' importantissimo fenomeno dell' attrazione e repulsione elettrica, che è uno dei principali fondamenti di questa teoria; e perchè questa spiegazione riesca più soddisfacente, uniremo con Volta i fatti al raziocinio, e ciò tanto più volentieri quanto è più difficile il poter combinare questo doppio genere di dimostrazione quando si tratta di ipotesi.

1.° *Fatto.* — Il Fisico di Pavia nella sua prima lettera al Professore Lichtenberg gli dà notizia di una bilancia di sua invenzione di cui convien qui dare l' idea, perchè serve appunto alla dimostrazione che siamo per dare.

A una bilancia costruita nel modo ordinario, ma delicata ed esatta, si lasci pendente da una parte uno dei soliti bacini, e dall' altra si sospenda in vece con lunghi cordoncini di seta un disco o piattello d' ottone di quattro o cinque pollici di diametro, e si formi quindi l' equilibrio; e senza alterarlo si faccia posare il piattello sopra un altro totalmante simile al primo, e sorretto da un fusto isolatore. In questo stato, se con una boccia di Leida o in qualunque altra maniera si infonde nei due piattelli una quantità d' elettricismo, il superiore verrà subito spinto in alto, allontanandosi così dall' inferiore, e facendo quindi traboccar la bilancia dall' altra parte.

Ciò che accade per repulsione in questo apparecchio, accade più visibilmente e più esattamente ancora per attrazione con un altro apparecchio quasi simile, di cui Volta stesso rende conto al citato Professore nella sua seconda lettera. In questa nuova bilancia in vece di sospendere il piattello sopra un altro isolato, lo sospende parallelamente a un piano deferente, lo elettrizza come il primo, e vede attratto il piattello in modo da richiedere varii pesi per formar di nuovo l'equilibrio, varii secondo la distanza del piano deferente, secondo la forza della carica elettrica, e secondo la superficie del piattello d' ottone.

2.° *Fatto.* — Si abbiano due campane di vetro, una piena d' aria elettrizzata, e l' altra piena d' aria in stato naturale: si prenda un filo di ferro, e a ognuna delle due estremità di esso si sospendano due pendolini leggerissimi. Se si introducano questi in quelle due campane, si vedrà che i pendoli introdotti nella prima divergono come se si respingessero, e la divergenza cresce se si tocchi con un dito il filo di ferro, perchè in tal modo si apre una strada al fluido elettrico per ritirarsi da questi pendoli; mentre quelli introdotti nella seconda campana, in cui l' aria non è elettrizzata, si conservano perpendicolari e paralleli fra loro: ritirando poi il dito, e lasciando così isolato il conduttore, a misura che l' elettricismo dall' aria che ne è impregnata si comunica ai piccoli pendoli che circonda, e per mezzo di essi a tutto il conduttore, i medesimi si abbasseranno fino a tornare perfettamente paralleli, mentre divergeranno e si alzeranno altrettanto i pendoli nell' aria non elettrizzata.

Questi fatti persuasero Volta e persuadono noi pure ad escludere l' opinione

Ma qui dobbiamo considerare tre casi, cioè o i due corpi sono conduttori, o sono isolatori, o uno è conduttore e l'altro isolatore.

663. I.° Caso. *Di due corpi conduttori.* La maniera con cui accade il fenomeno in questo primo caso richiede alcune osservazioni particolari. Sieno A, B. (*fig.* 82) due palle di midollo di sambuco, o di qualunque altra materia conduttrice, sospese per mezzo di fili a una piccola distanza l'una dall'altra, e alle quali sia stato comunicato l'elettricismo vitreo. I fluidi che circondano queste palline si respingeranno scambievolmente, e le loro molecole si spargeranno nello spazio con moti contrarii, se l'aria circostante non le trattiene intorno a quei corpi; e quindi non potranno che strisciare sulla superficie dei corpi stessi in modo, per esempio, che il fluido del corpo A essendo respinto verso la superficie posteriore di questo corpo intorno al punto *d*, con la sua reazione farà equilibrio all'effetto della pressione, che l'aria vicina esercitava sul corpo stesso in virtù della sua

di quelli che ammettono la repulsione elettrica in un senso vero e proprio. Quasi per terzo fatto si aggiunga che il piattello dell'apparecchio citato nel *Fatto* 1.°, tanto nel caso della prima esperienza della repulsione, quanto nella seconda dell'attrazione, impiega un tempo notabile dopo infuso l'elettricismo, prima di scostarsi o di avvicinarsi all'altro corpo deferente, o sia esso a contatto o a qualche distanza da questo.

Chiara da questi fatti apparisce la spiegazione del fenomeno della repulsione e dall'attrazione elettrica. Nel primo fatto il piattello tarda a sollevarsi in alto o ad avvicinarsi al piano deferente vicino, perchè il fluido elettrico si muove con lentezza nello strato d'aria che è sopra il piatto, in conseguenza della natura coibente dell'aria stessa, il qual fluido ha quindi bisogno di un certo tempo per esercitare un'attrazione sopra un corpo che presenta una resistenza di alcuni grani.

Nel secondo fatto sono elettrizzati i piccoli pendoli in virtù della loro comunicazione con l'aria elettrizzata. L'aria dunque che è fra l'uno e l'altro, essendo esposta all'azione del fluido elettrico soprabbondante in ambedue, se sono elettrizzati positivamente, o in ambedue mancante se sono elettrizzati negativamente, resta nel primo caso molto più saturata, e nel secondo molto meno di quella che li circonda all'esterno. Dunque il fluido elettrico di questi corpi sarà più attratto dall'aria esterna che dall'interna; e quindi i pendoli saranno trasportati verso l'aria esterna che in certo modo li attrarrà, per lo che appariranno respingersi.

Di qui nasce ancora la spiegazione dell'attrazione che si osserva fra due corpi elettrizzati differentemente. In fatti l'aria interna contigua al corpo elettrizzato negativamente, meno saturata di quella che è aderente alla parte interna del corpo elettrizzato positivamente, attrarrà il fluido di questo corpo, e quindi il corpo stesso; giacchè il fluido non può staccarsene attesa la coibenza dell'aria, e da esso sarà attratta a vicenda; e però sembrerà che i due corpi si attraggano.

Con questi principii facilmente si spiegheranno gli altri fenomeni dipendenti da questo, come i due citati qui appresso dall'Autore, e quello citato al §. 683.

forza elastica. Rotto così l'equilibrio fra questa forza e quella dell'aria contigua alla superficie anteriore *c*, quest'ultima tenderà a spingere il corpo A nella direzione *ch*. Lo stesso raziocinio si applica in senso contrario al corpo B, dal che si concluderà che i fluidi e i corpi spinti da un moto comune, devono sfuggirsi l'un l'altro. Accaderebbe lo stesso se i due corpi fossero elettrizzati resinosamente.

Nell'una e nell'altra circostanza i due corpi seguiteranno a sfuggirsi l'un altro, finchè le azioni loro repulsive trovandosi scemate per l'aumento di distanza, faranno equilibrio alla gravità che opera in modo contrario, con una forza simile a quella che produce il moto oscillatorio.

664. La stessa spiegazione vale egualmente, supponendo che uno dei corpi fosse libero di muoversi, e l'altro attaccato a un punto fisso; nel qual caso tutto l'effetto della repulsione si porterà sul moto che farà il corpo libero allontanandosi dall'altro. Questo resultamento è analogo a quello di cui abbiamo citato un esempio singolare, nel descrivere l'esperienza fondamentale immaginata da Coulomb, per determinare la legge a cui son soggette le azioni elettriche.

L'esperienza può variarsi in un'altra maniera, che può egualmente applicarsi al caso seguente, che ce ne somministrerà qualche esempio.

665. II.° Caso. *Di due corpi isolatori.* Nel caso di due corpi isolatori, l'azione dell'aria non concorre più con quella che esercitano i corpi uno sull'altro. Le molecole dei due fluidi in attività intorno alla superficie di quelli, son ivi trattenute dalla forza coibente, e gli strati composti di questi fluidi potendo esser riguardati come formanti un tutto coi corpi che circondano, le trasportano respingendosi scambievolmente; sicchè l'effetto delle azioni elettriche dipende allora immediatamente dallo stato, in cui si trovava ciascun corpo prima dell'esperienza.

L'elettroscopio vitreo ci dà un mezzo di applicare a questo secondo caso una maniera di variar l'esperienza, come poco fa accennammo; ed è quello in cui uno dei due corpi essendo libero, l'altro viene avvicinato ad esso con un moto prodotto da un'azione meccanica. Supponiamo ora che la sbarra di spato, che è il mobile dell'elettroscopio, abbia acquistato il potere elettrico per via di pressione: se si prenda fra due dita un pezzo del medesimo spato, e premuto esso pure, si faccia muovere verso l'estremità della sbarra dell'elettroscopio, la repulsione scambievole dei due corpi produrrà nella leva dell'elettroscopio stesso un moto di rotazione, in virtù del quale la sbarra che è all'estremità di quella, fuggirà continuamente dal corpo che tende verso di essa, e non si fermerà se non quando questa sbarra cesserà di sembrare di perseguitarlo. Si otterrà lo

stesso effetto sostituendo a questo corpo una lastra o un pezzo tagliato di topazio senza colore, elettrizzato per via di confricazione.

666. III.° Caso. *Di un corpo conduttore e uno isolatore.* Osserviamo di nuovo la circostanza in cui due corpi sono sospesi liberamente, come si vede nella *figura* 83, e supponiamo che B sia il corpo isolatore. Il suo fluido restando come imprigionato sulla superficie di esso, eserciterà nondimeno un' azione repulsiva sul fluido di A, che sarà respinto verso il punto *d*, come nel primo caso, ed eserciterà una reazione contro l'aria vicina a questo punto; e però l'equilibrio sarà rotto egualmente fra quest'aria e quella che occupa l'intervallo fra i due corpi, in modo che l'elasticità di questo divenuta preponderante forzerà i due corpi ad allontanarsi l'uno dall'altro.

667. Si può verificare questo resultamento per mezzo dell'elettroscopio resinoso, e di un cannello di gomma lacca o di cera di Spagna, servendosene successivamente in due stati diversi. Dopo aver confricato questo cannello, si mette a contatto con uno dei globetti dell'ago, che subito vien respinto in virtù della porzione di fluido eccedente cedutogli dal cannello; quindi si tocca due o tre volte con un dito per togliergli il fluido che gli resta, e allora passa dallo stato di conduttore a quello di isolatore; e se si presenti nuovamente al piccolo globo, che è corpo conduttore, nuovamente comparisce la repulsione, ed è questo appunto il terzo caso citato.

Azione scambievole di due corpi che hanno elettricismo eterogeneo.

668. Figuriamoci ora che i due corpi sieno conduttori, e che uno di essi, come A, essendo mosso dall'elettricismo vitreo, B sia nello stato resinoso; in tal caso i fluidi si attrarranno in modo, che, relativamente al corpo A, che prenderemo sempre per termine di comparazione, la repulsione accaderà verso la parte anteriore C di questo corpo. Il fluido accumulato in questo punto opererà dunque per repulsione sull'aria vicina, e quindi l'aria contigua alla parte posteriore *d*, spingerà il corpo nella direzione *dn*. Accaderà lo stesso in modo contrario, relativamente al corpo B, e così i fluidi e i corpi anderanno l'uno verso dell'altro.

669. Se i due corpi fossero isolatori, oppure uno solo, con un raziocinio simile a quello che abbiamo fatto nell'ipotesi di due elettricismi omogenei, si concluderebbe che essi tenderebbero egualmente uno verso l'altro con moti contrarii.

670. Ci resta da considerare ciò che deve accadere fra i corpi quando son giunti a contatto. Se sono ambedue conduttori, può accadere che le quantità di fluido di cui son caricati sieno eguali; e in questa ipotesi, i fluidi nell'unirsi si neutralizzeranno, e faranno ritornare i corpi nello stato naturale, dimanierachè le azioni di quelli diverranno nulle.

671. Se all'opposto, come più spesso accade, uno dei due corpi come A è elettrizzato più di B, il suo fluido si suddividerà in due porzioni, una delle quali eguale alla totalità del fluido di B, la neutralizzerà unendosi con essa, e l'altra che resterà in attività si distribuirà fra i due corpi in modo, che la repulsione succederà all'attrazione. E se ambedue i corpi sieno isolatori, oppure uno solo, la tendenza comune di essi a conservare il proprio fluido, o quella che sarà particolare del corpo isolatore, li conserverà ambedue nel medesimo stato con una più o meno forte adesione, eccettuato il caso in cui l'eguaglianza fra le quantità dei due fluidi rendesse nulla questa adesione medesima.

672. Con l'esperienza seguente si può verificare il resultamento relativo a due corpi conduttori. Si principia dal mettere l'ago isolato in stato di elettricismo vitreo, si prende quindi l'apparecchio a globo isolato (*fig.* 78), e mentre con una mano si ritiene l'elettricismo libero del cannello di cera di Spagna che gli serve di sostegno, si frega un altro cannello della medesima cera, e si frega il globo con la parte confricata: si rinnuova per tre o quattro volte la confricazione della cera, e la comunicazione col globo metallico, e quindi si avvicina questo ad uno dei globetti dell'ago, il quale vien subito attratto fino al contatto, e poi respinto.

Azione di un corpo elettrizzato sopra un corpo in stato naturale.

Consideriamo qui il caso a cui si riferisce quest'azione, perchè il primo effetto che ne resulta è di convertirla in quella che si osserva fra due corpi rivestiti di elettricismi eterogenei.

673. Figuriamoci un corpo conduttore A di figura sferica, elettrizzato per un aumento di elettricismo vitreo, e un altro corpo sferico B parimente conduttore e nello stato naturale. Il fluido vitreo che circonda A eserciterà una forza repulsiva sul fluido della medesima specie, che fa parte del fluido naturale di B, e una forza attrattiva sul fluido resinoso, che è l'altro principio componente lo stesso fluido naturale, il quale verrà quindi scomposto; dimanierachè le molecole del suo fluido resinoso si porteranno verso la parte di B più vicina ad A, e quelle del fluido vitreo saranno scacciate verso la parte opposta. Questi mede-

simi principii usciranno dal corpo B e si spargeranno intorno alla sua superficie, sicchè il fluido dell'elettricismo resinoso circonderà l'emisfero voltato verso A, e quello dell'elettricismo vitreo l'emisfero più lontano da A.

Ragionando ora dell'aumento di fluido di A, come di quello che fa parte del suo fluido naturale, si comprenderà facilmente che ad egual distanza esso esercitera sui due fluidi di B azioni tali, che si distruggeranno scambievolmente: ma variando la distanza, il fluido resinoso di B sarà attratto più del fluido vitreo; sicchè i due corpi, se son sospesi liberamente, si avvicineranno fino al contatto. In tal caso la quantità aumentata del fluido vitreo di A, unendosi col fluido resinoso sparso sulla superficie di B, resulterà da questa unione una certa quantità di fluido naturale che entrerà di nuovo in B; ed è chiaro che sulla totalità dei fluidi, i quali si trovavano liberi nel momento del contatto, resterà una porzione di fluido vitreo fuori di combinazione, la qual porzione si distribuirà fra i due corpi con una certa legge di cui abbiamo già parlato altrove (§. 642), e i due corpi trovandosi nello stato di elettricismo vitreo si respingeranno, come resulta dall'esperienza. Con un semplice cambiamento di nomi si applica lo stesso raziocinio al caso in cui il corpo A fosse caricato di una quantità aggiunta di fluido resinoso.

Di qui si vede che non è esattamente vero, come credevano i partigiani di Franeklin, che un corpo messo in un certo stato di elettricismo, attragga a se un altro corpo che è nello stato naturale; poichè in questa maniera di concepire il fenomeno, manca un'idea intermedia. Il primo corpo prima di tutto toglie l'altro dal suo stato naturale, quindi lo rende capace di essere attratto, e in fine lo attrae realmente (42).

Abbiamo un esempio di ciò nel modo con cui si carica l'elettroscopio resinoso, quando, dopo aver confricato un cannello di cera di Spagna, si presenta questo a uno dei globetti dell'ago, che è successivamente attratto e respinto.

674. Con questi medesimi principii si spiegherà ciò che accade nel servirsi dell'ago non isolato, per conoscere se un corpo è elettrizzato oppure nello stato naturale, secondo che esso attrae questo ago o lo lascia immobile. Nel primo caso, se il corpo è isolatore, proseguirà l'attrazione dopo il contatto; sicchè se si fa muovere il corpo attraente intorno al

(42) In seguito di quanto abbiamo detto nella nota 41, ben lungi dal mancare in questa spiegazione un'idea intermedia, tutto è connesso, e la verità apparisce per deduzione; poichè ammesso il principio che l'aria è la causa delle apparenti attrazioni e repulsioni, si spiega con la massima facilità questo fenomeno, e si sostiene così l'opinione franeklinjana ancora in questo caso.

centro di rotazione dell' ago, esso gli anderà dietro, e resterà applicato alla superficie di esso. Che se al contrario il corpo presentato all'ago è conduttore, quello comincierà ad attrarlo, come nel caso precedente, ma nel momento del contatto gli toglierà tutto il suo fluido e lo trasmetterà ai corpi circostanti.

675. Ci resta a spiegare il resultamento dell'esperienza, per mezzo della quale l'ago isolato (*fig.* 77) acquista il potere elettrico. Sceglieremo come esempio il caso, in cui si pone un pezzo di ambra confricata sulla direzione prolungata dell'ago stesso, e in faccia ad uno dei globetti posti alle estremità di essa, mentre si tiene fra due dita l'altro globetto. L'azione dell'ambra scompone il fluido naturale tanto dell'ago quanto delle dita, fino alla distanza a cui può estendersi, respinge nello spazio che corrisponde a questa distanza il fluido resinoso, sprigionato dallo stesso fluido naturale, e attrae in parte contraria il fluido vitreo; dal che segue che l'ago, mentre perde una porzione del suo fluido resinoso, acquista un aumento di fluido vitreo, il quale va crescendo fino al punto, in cui la repulsione scambievole tanto delle molecole del fluido aumentato quanto di quelle della quantità primitiva, è in equilibrio con l'attrazione dell'ambra. In questo stato di cose, si ritira primieramente il dito e poi l'ambra; e quindi l'isolamento impedisce che sfugga il fluido acquistato dall'ago e conserva questo nello stato di elettricismo vitreo. Lo stesso raziocinio si applica al caso in cui si comunica all'ago l'elettricismo resinoso, sostituendo all'azione dell'ambra quella di un romboide di spato d'Islanda.

Termineremo questo articolo con la descrizione di un'esperienza familiare, in cui l'azione di un corpo elettrizzato sopra un altro corpo nello stato naturale, è accompagnata da circostanze particolari, che dipendono dall'azione dell'apparecchio di cui ci serviamo.

Scampanio elettrico.

676. L'effetto di questo strumento consiste nel moto di due campanelli metallici, colpiti alternativamente da un globo parimente metallico che serve di battente. Dei due campanelli *g* e *n* (*fig.* 84), uno, come *g*, comunica col conduttore per mezzo della sua catena di sospensione G *r*, l'altro *n* è sospeso a un filo di seta, e però isolato, relativamente al conduttore, mentre è poi in comunicazione con i corpi circostanti, per mezzo della catena *n h*; e il globo metallico *d* è parimente sospeso a un filo di seta. Quando si carica il conduttore, il fluido, che supporremo di elettricismo vitreo, passa nel campanello *g*, e il globo *d*

attratto da esso va a colpirlo, e ne è subito respinto per la ragione che abbiamo indicata di sopra; e quindi in virtù di questa repulsione soltanto, tenderebbe ad avvicinarsi al campanello *n*; ma è spinto ancora verso di quello in virtù dell'elettricismo acquistato, poichè il campanello *n* è nello stato naturale; e inoltre il moto oscillatorio seconda pure questo effetto. Ma appena il globetto è a contatto col campanello *n*, gli cede il suo fluido il quale si perde lungo la catena *nh*; e quindi il globetto che per il solo suo moto oscillatorio si sarebbe avvicinato al campanello *g*, si è di più trovato attratto verso di quello dall'azione del fluido elettrico sparso sulla superficie del medesimo, sicchè le stesse cause cominciando di nuovo ad operare, vengon ripetuti i medesimi effetti (43).

677. Questa esperienza può presentarsi in un aspetto diverso, sostituendo ai campanelli due dischi separati da un cilindro voto di vetro, al quale servano di base. Nel centro del disco superiore è fissata un'asta metallica, che all'estremità superiore termina con un uncino, per attaccarla comodamente al conduttore della macchina elettrica, e il disco inferiore è in comunicazione coi corpi circostanti. Prima dell'esperienza sieno poste varie palline di midollo di zambuco sulla superficie superiore di questo: appena si mette in azione la macchina elettrica, si vedono tutte queste palline muoversi verso il disco superiore che le attrae fino al contatto, e poi le respinge verso il disco inferiore, e così di seguito; nè l'occhio può tener dietro alla rapida successione di tali moti contrarii di questi corpi, e agli urti di essi nell'incontrarsi. Questa esperienza

(43) Il conduttore elettrizzato positivamante, perchè riceve abbondante quantità d'elettricismo dal disco di vetro confricato, ne comunica naturalmente una porzione al campanello *g* per mezzo della catena deferente: accumulato così il fluido su questa superficie, e non potendo liberamente escirne per la coibenza dell'aria circostante, quest'aria si soprassaturerà d'elettricismo nello strato in faccia al corpo elettrizzato, lo che produrrà una diminuzione nello strato in faccia al globetto non elettrizzato: quindi in questo verrà alterata l'attrazione per il fluido elettrico, e il fluido suo sarà attratto dall'aria, e con quello in conseguenza esso pure; finchè arrivato a contatto col campanello, ricevendo nuova quantità d'elettricismo che non può perdere perchè è isolato, tornerà allo stato d'equilibrio elettrico, e quindi verrà respinto come il piattello elettrizzato nell'esperienza del Volta citata nella nota 41. E in questo fatto pure come in quello si osservi, che quantunque prontissima apparisca l'attrazione e la repulsione del corpo leggiero, non è però tanto momentanea quanto momentanea è la trasmissione del fluido elettrico: dunque un certo tempo, per quanto infinitesimo, è necessario per l'apparizione del fenomeno: dunque il fenomeno stesso dipende dall'azione dell'aria e non da una reale attrazione o repulsione dei corpi.

che per molto tempo non era stata che un oggetto di divertimento, è divenuta importantissima dopo la famosa applicazione che Volta ne ha fatta alla formazione della grandine, come diremo in seguito.

Azioni dell' Elettricismo acquistato da ciascuno dei due corpi sul fluido naturale dell' altro.

678. In tutto ciò che abbiamo detto, abbiamo supposto che i corpi operassero l' uno sull' altro soltanto in virtù dell' elettricismo acquistato prima dell' esperienza; ma in sostanza appena i corpi sono presenti fra loro, il fluido libero che ciascuno di essi aveva portato con se, tende a scomporre il fluido naturale dell'altro, e l'effetto di questa scomposizione giunge in certi casi fino a cambiare in attrazione la repulsione, che sarebbe accaduta se i corpi fossero rimasti nello stato primitivo. (44).

Per provarlo, supponiamo che i due corpi A e B (*fig.* 83), essendo ambedue conduttori e isolati, abbiano acquistato quantità diseguali d'elettricismo vitreo, in modo che per esempio il corpo A ne abbia acquistato più dell' altro; e indichiamo con V, v queste due quantità. Per quanto abbiamo detto di sopra si sa, che la repulsione scambievole dei due fluidi li respingerà intorno ai punti d, g delle superficie loro più lontane una dall' altra, e nel tempo stesso le azioni loro reciproche sui fluidi naturali principieranno a scomporli. Ma l' effetto di questa scomposizione essendo leggiero, relativamente al fluido di A, per cagione della poca quantità di quello di B, noi consideriamo il corpo A come se fosse unicamente in stato vitreo, in virtù d'una quantità V' dello stesso fluido, un poco minore della quantità assoluta. Frattanto l' azione di questo fluido attrarrà verso il punto f una porzione r di fluido resinoso, sprigionato dal fluido naturale di B, e respingerà verso d una porzione v' del fluido vitreo, derivato da un simile sprigionamento, la qual porzione si unirà alla quantità v che esisteva prima. Ora l' attrazione che il fluido V prosegue ad esercitare sul fluido r, fa in parte equilibrio all'effetto della repulsione dello stesso fluido sui fluidi v e v', e può accadere ancora che nei primi momenti essa si conservi ancora maggiore. Ma se si faccia avvicinare a B il corpo A, l'aumento della quantità r che verrà in conseguenza dell' aumento d'at-

(44) Se in vece di dire che il fluido naturale d'un corpo tende a *scomporre* il fluido naturale dell'altro, si dica *mettersi in equilibrio* con esso, apparirà chiara l' idea d'una *tensione positiva* nell' uno, e d' una *tensione negativa* nell' altro. Seguendo il raziocinio dell'A. ma con i nostri principii e quindi col nostro linguaggio, si presenta molto più chiara la spiegazione di questo fenomeno.

trazione, indebolirà sempre più la repulsione di cui parlavamo poc'anzi; dall'altra parte l'attrazione di V sopra r crescerà in un rapporto maggiore, per la diminuzione della distanza, di quello che la repulsione sopra v e sopra v' (a), sicchè vi sarà un termine in cui il vantaggio che ne resulta per l'attrazione la renderà superiore alla repulsione, e passato questo termine il corpo B si avvicinerà al corpo A.

L'attrazione apparirà tanto più pronta o più tarda, quanto le quantità di fluido acquistate in principio dai due corpi saranno più o meno diseguali; e facilmente si vede che potrebbe accadere lo stesso nel caso in cui uno dei due corpi fosse isolatore, purchè fosse quello che avesse acquistato maggior forza d'elettricismo.

679. Ma possono però ottenersi effetti simili più distinti, assoggettando all'esperienza due corpi isolatori, perchè la proprietà isolatrice varia da un corpo ad un altro con una certa gradazione. È ben vero però che non v'è alcun corpo perfettamente isolatore, ossia non ve n'è alcuno che resista assolutamente al passaggio del fluido elettrico nel suo interno; quindi se per questa esperienza si scelgano due corpi, uno dei quali sia più o meno coibente dell'altro, ossia più o meno isolatore, essendo tal corpo, per questa proprietà appunto, più capace di acquistare una maggior quantità d'elettricismo per mezzo di confricazione, l'azione energica che esso eserciterà sull'altro, quando ambedue sieno elettrizzati, potrà scomporre una porzione del fluido naturale di questo, e quindi esercitare un'azione sui fluidi vitreo e resinoso messi in libertà da tale scomposizione; sicchè l'effetto di quest'azione sarà analogo a quello che accaderebbe con due corpi conduttori.

680. Questi resultamenti potranno verificarsi coi piccoli strumenti di cui abbiamo poco fa indicato l'uso. Così per l'esperienza con due corpi conduttori, si prenderà il piccolo globo metallico e l'ago isolato, ambedue elettrizzati resinosamente; per l'esperienza con un corpo conduttore e un corpo isolatore, si prenderà un pezzo di cristallo di monte confricato, e lo stesso ago elettrizzato vitreamente; per l'esperienza con due corpi isolatori, si prenderà l'elettroscopio vitreo e il pezzo di cristallo di monte. Nella prima esperienza, il globo sarà il pezzo più elettrizzato, nella seconda il cristallo di monte, nella terza la sbarra dell'elettroscopio vitreo. Ma non sempre si scopre a prima vista l'effetto che si cerca: per esempio, il cristallo di monte presentato alla sbarra di spato è qualche volta elettrizzato troppo, perchè l'attrazione succeda alla repulsione, e in questo caso, basta lasciarlo per qualche

(a) Ciò accade perchè le azioni elettriche son soggette alla legge della ragione inversa del quadrato della distanze, come abbiamo veduto di sopra.

momento a contatto con un corpo conduttore, per fargli perdere quella porzione di fluido che in lui soprabbonda: in generale però l'abitudine sola renderà l'esperimentatore padrone dell'esperienza, la quale egli potrà dirigere verso il suo vero scopo.

681. Quindi è che l'attrazione non è un indizio certo della specie d'elettricismo che una sostanza può acquistare per via di confricazione, il quale può soltanto distinguersi dalla repulsione.

Gli elettricismi eterogenei acquistati da varii corpi, esercitano azioni diverse da quelle che dipendono dagli elettricismi omogenei. Sia A il corpo elettrizzato vitreamente, e B quello elettrizzato resinosamente: il fluido resinoso sprigionato dal fluido naturale di B dall'azione di A, sarà attratto nella parte del primo che è voltata verso l'altro, cioè esso sarà il fluido dello stesso nome di quello che era stato acquistato dal corpo B; e la stessa eguaglianza si osserverà fra il fluido vitreo attratto nella parte anteriore del corpo A e il suo fluido primitivo. Così le azioni dei fluidi staccati dalle quantità naturali, lungi dall'impedire o solamente ancora dall'alterare gli effetti delle azioni dei fluidi primitivi, ne accresceranno l'energia; ed è chiaro egualmente che in proporzione accaderà lo stesso aumento d'energia, qualunque sia il rapporto fra le quantità d'elettricismo acquistate dai due corpi prima dell'esperienza.

Azioni scambievoli di due corpi che hanno le loro parti in due stati differenti, in virtù del fluido loro naturale scomposto.

682. Daremo qui la spiegazione di un fatto che è connesso col presente argomento, e che ci sarà utile quando tratteremo dell'elettricismo acquistato per mezzo del calorico; il qual fatto si osserva quando i fluidi che derivano dalla scomposizione dei fluidi naturali di due corpi isolatori A e B, dopo essere stati respinti verso le estremità di quelli, son ivi trattenuti dalla forza coibente. Supponiamo che uno di questi corpi sia situato nella sfera d'attività dell'altro, in modo che la parte di A, la quale contiene il fluido vitreo, sia voltata verso quella di B che contiene il fluido resinoso. Se ambedue i fluidi di A esercitassero a egual distanza un'azione sopra uno dei fluidi di B, le loro azioni sarebbero in equilibrio; ma poichè il fluido vitreo l'esercita più da vicino, la sua forza sarà superiore: sicchè si potrà considerare A come un corpo che operi unicamente in virtù d'una quantità v di fluido vitreo, proporzionata alla differenza delle due azioni. È facile dunque il concludere da tutto questo, che se il fluido resinoso di B fosse più vicino del suo fluido vitreo al punto in cui si suppone riunita l'azione di v, l'attrazione di v sul primo sarebbe maggiore della

repulsione sul secondo, e quindi i due corpi si avvicinerebbero l' uno all'altro. Che se all'opposto le due parti per cui i corpi sono in faccia l'uno dell'altro fossero rivestite di una stessa specie d'elettricismo, due corpi si sfuggirebbero.

CASO IN CUI LE ATTRAZIONI E LE REPULSIONI ACCADONO CONTEMPORANEAMENTE.

683. Le attrazioni e repulsioni elettriche si presentano in alcuni casi sotto l'apparenza d'un effetto, che potrebbe attribuirsi all'azione di due cause contrarie che operassero insieme; e i fenomeni appunto di questo genere hanno sedotto i partigiani delle affluenze e delle effluanze. Si pongono alcune foglie sottili di rame o altri corpi leggieri sopra un conduttore che in principio sia in stato naturale, e altri sotto il medesimo a una piccola distanza: appena si elettrizza il conduttore, quelli saranno respinti, e questi saranno respinti e poi attratti a vicenda (45). Il primo effetto veniva attribuito alla materia affluente, e il secondo alla materia effluente. Accade inoltre talora che alcune foglie mentre sono attratte, ritornano indiatro prima d'arrivare al contatto, e sembra che ciò accada perchè allora si trovano nei punti in cui le due correnti si urtano nell'incontrarsi. Ma la vera spiegazione di questi fenomeni si trova naturalmente nei principii che abbiamo stabiliti. I corpi leggieri posti sul conduttore sono respinti, perchè esso comunica a loro una porzione del suo fluido; quelli situati sotto di esso provano per la maggior parte un'attrazione che gli strascina fino al contatto, alla quale attrazione succede una repulsione perchè la parte di loro che è voltata verso il conduttore, che in principio era rivestito d'un elettricismo contrario al suo, acquista un elettricismo della stessa natura appena essi sono arrivati a toccarlo; e relativamente ai piccoli corpi che fuggono dal conduttore prima d'averlo toccato, accade che ritornano indietro, perchè quando l'elettricismo è un poco abbondante, esiste sempre qualche getto di fluido che sfugge dal conduttore a traverso dell'aria circostante, e che a preferenza si porta su quei corpi che essendo terminati in punta, sono per questa ragione appunto adattatissimi a richiamare a se il fluido elettrico, come vedremo in seguito; sicchè accade in essi anticipatamente un effetto che non sarebbe accaduto se non a contatto.

(45) Ved. la nota 41.

CONSIDERAZIONI IN FAVORE DELL' IPOTESI D' UN DOPPIO FLUIDO ELETTRICO.

La repulsione di quei corpi che si riguardavano come elettrizzati negativamente, è sempre stato lo scoglio delle teorie. Bisognava dunque procurare di concepire in qual modo quei corpi, ciascuno dei quali aveva perduto una porzione del suo fluido, venivano spinti ad allontanarsi l'uno dall'altro, mentre una soprabbondanza di fluido produceva il medesimo effetto. La maggior parte dei fisici che hanno tentato di sciogliere questa difficoltà, son ricorsi all'azione dell'aria circostante, che essi spiegano con meccanismi diversi, ma che noi non ci tratterremo ad esporre (46).

Frattanto era pur facile il pensare, che quando si elettrizzavano per via di confricazione due pezzi di resina da una parte, e dall'altra due corpi vitrei, la repulsione scambievole dei primi e quella dei secondi, erano effetti in certo modo paralleli, di cui doveva cercarsi la causa nei corpi stessi.

684. Da ciò si rileva un'osservazione che suggerirà l'ultima prova in favore dell'ipotesi che il fluido elettrico sia composto di due fluidi differenti. Finchè, trattandosi di elettricismo, non si usarono che i metodi i quali danno soltanto qualche approssimazione, e lasciano al fisico la libertà di adattare ciò che accade nei fenomeni al suo modo di vedere, si credè soddisfare a tutto con un solo fluido: ma per ben giudicare di questi metodi, bisogna che ci riportiamo ai tempi in cui il celebre Epino prese l'assunto di ridurre la teoria alla precisione ed all'esattezza, e di metterla in stato di sostenere la prova del calcolo. Egli partì dal principio, che le molecole del fluido elettrico, il quale in questa teoria era considerato come un essere semplice, si respingessero scambievolmente, e potessero essere attratte da qualunque corpo: supponendo quindi due corpi A e B nello stato naturale, e però in equilibrio, trovò primieramente che la

(46) È anzi utile l'esporla; e penetrando nello spirito della dimostrazione del Volta da noi indicata (n. 41), si vedrebbe che l'azione dell'aria considerata in quell'aspetto, primieramente non repugna alla legge generale della gravità, giacchè opera con un meccanismo il quale senza cessare d'essere ipotetico è però molto naturale, in conseguenza della naturale azione dei corpi, e specialmente dei fluidi elastici: secondariamente esclude un'azione composta di forze ipotetiche, conducendo in fine a un resultamento non dissimile da quello che si ottiene per mezzo della supposizione delle medesime: finalmente Epino stesso, Cavendish e Robison hanno dimostrato col fatto che questa teoria ancora poteva sottoporsi al rigore del calcolo.

materia propria del corpo A, per esempio, attraeva il fluido elettrico di B, e che i fluidi dei due corpi si respingevano scambievolmente, e provava che l'attrazione era eguale alla repulsione (*a*). Ma inoltre il fluido elettrico di A attraeva a vicenda la materia propria di B, e questa terza azione era pure eguale a ciascuna delle due prime: e poichè sussisteva pur l'equilibrio, bisognava trovare in qualche parte una quarta forza che fosse repulsiva, e che equilibrasse l'effetto della terza; ma qualunque altro posto essendo occupato, non restava per questa repulsione se non l'azione scambievole delle molecole dei due corpi; e così Epino si trovò come trasportato dalla teoria a questa strana conseguenza, che sotto il punto di vista dei fenomeni elettrici, le molecole di tutti i corpi si respingevano. Nel leggere quest'opera si vede che egli rigettò una tal conseguenza con una specie di indignazione, la prima volta che essa si presentò al suo spirito(*b*). Ed era per verità cosa dispiacevole l'essere obbligato a confessare, che solamente per la presenza del fluido elettrico sembrava che le molecole di tutti i corpi solidi esercitassero l'une sulle altre un'azione direttamente opposta alla gravitazione universale; e con questo si dava alla teoria un nemico tanto formidabile quanto potente: ma si rimedia a questo inconveniente col concepire il fluido elettrico come formato dall'unione di due fluidi, uno dei quali esercita quell'azione che Epino attribuiva alle molecole dei corpi. Repugna molto meno l'ammettere una repulsione a distanza fra le molecole di due fluidi particolari, i quali, come tutti gli altri, si respingono quando sono a contatto, che ammetterla fra quelle di tutti i corpi solidi della natura. I fisici che spiegavano tutto con un solo fluido, avevan principiato essi pure a credere che le sue molecole si respingessero egualmente a distanza, da una superficie all'altra della boccia di Leida; e poichè ciò che noi chiamiamo *azione a distanza* non è propriamente che un fatto sul quale appoggiamo una teoria, senza cercare la causa che somministra il punto d'appoggio, basta a noi che il modo con cui concepiamo questo fatto, possa adattarsi alla nostra Fisica, e che tutte le nostre ipotesi si colleghino nel nostro spirito, come le vere cause di cui esse rappresentano i resultamenti son collegate nel disegno della sovrana sapienza. Finalmente l'ipotesi dei due fluidi è la sola fin qui, che relativamente alle due specie d'elettricismo, abbia il vantaggio di stabilire un'eguaglianza esatta fra le azioni che producono certi fenomeni che ci compariscono similissimi

(*a*) Il raziocinio che lo conduceva a questo resultamento era simile a quello di cui ci siamo serviti (§. 661) per dimostrare l'eguaglianza delle azioni esercitate dai fluidi di due corpi nello stato naturale.

(*b*) *Tentamen. Theor. electricitatis et Magnet.* p. 39.

fra loro, e di ridurre il tutto a certe spiegazioni, delle quali una è in certo modo la contro prova dell'altra.

Del potere delle punte.

Il potere delle punte è uno dei più singolari fenomeni dell'elettricismo, tanto per se stesso quanto per le utili applicazioni che sono state fatte di questa cognizione, per preservare gli edifizii dall'esplosione dell'elettricismo naturale. Diamone intanto la descrizione e la teoria.

685. Rammentiamoci primieramente, che quando un corpo isolato, che prima era nello stato naturale, si trova alla presenza d'un altro corpo carico d'elettricismo dell'una o dell'altra specie, diventa elettrico esso pure, e diventa in tal maniera, che la sua parte più vicina all'altro corpo è sempre rivestita dell'elettricismo contrario a quello di detto corpo (§. 673). Accade pure qualche cambiamento nello stato di un corpo conduttore non isolato, il quale si trova nella sfera d'attività di un corpo elettrizzato: l'azione di questo attrae nella parte anteriore del corpo non isolato la specie d'elettricismo diverso dal suo, e respinge nella parte posteriore l'elettricismo della stessa natura. L'altro corpo a vicenda esercita pure un'azione sul primo, e tende ad attrarre il suo elettricismo tanto potentemente, specialmente in qualche circostanza, che toglie l'elettricismo al primo corpo, da una distanza molto considerevole, e ciò accade quando si presenta un'acuta punta di metallo al conduttore elettrizzato: nel qual fatto eccita la maraviglia il vedere che un corpo, l'azione del quale sembrerebbe dover esser proporzionata alla sua picciolezza, attrae tanto potentemente l'elettricismo accumulato sopra una vasta superficie, e arresta quasi interamente, a un colpo d'occhio, tutti gli sforzi che fa il fisico per proseguire a caricare il conduttore.

686. Franklin fu il primo che osservò questo potere delle punte, e credette di averlo bene spiegato, facendo il paragone fra una punta e una piccola forza, la quale eseguisce in dettaglio e con azioni ripetute, ciò che una gran forza non potrebbe eseguire con una sola azione diretta alla totalità dell'effetto; ma trovò poi falsa questa sua spiegazione, e lo confessò con quella ingenuità che è onorevole per il vero saggio al pari delle scoperte (*a*).

a) *Exper. et observ. sur l'Electric.*; Paris, 1752, p. 144 e seg. Dall'esposizione che Franklin fu di questa sua idea, si vede che gli era stata suggerita da quel tratto noto di Sertorio, il quale volendo mostrare ai suoi soldati quanto la perseveranza è più efficace dell'impeto, ordinò a un uomo robusto e vigoroso di

Senza trattenerci a indicare altre spiegazioni, già rigettate dai seguaci stessi di quelli che ne erano stati gli autori, cerchiamo di spiegare questo fatto con la teoria stessa che abbiamo adottata.

AZIONE DI UNA PUNTA PER TRARRE A SE IL FLUIDO ELETTRICO.

687. Un corpo quantunque rotondato, ha pure una certa forza per attrarre il fluido d'un conduttore elettrizzato, perchè ne fa escire talvolta qualche scintilla dalla distanza di un decimetro, e più ancora; e questo è un fatto provato dall'osservazione. Bisogna dunque far vedere che la forza di una semplice punta per produrre lo stesso effetto è incomparabilmente maggiore.

Figuriamoci primieramente un solo ago *ab* (*fig.* 89) con la punta *a* voltata verso un conduttore C, che supporremo elettrizzato vitreamente, e con l'estremità *b* in comunicazione con i corpi circostanti. L'azione del conduttore attrarrà verso la punta *a* il fluido resinoso *r*, che si è sprigionato dal fluido naturale dell'ago, e respingerà verso l'estremità *b* il fluido vitreo *v*. Supponiamo ora un altro ago *gd* posto vicino e parallelo al primo, e figuriamoci per un momento che i due aghi non abbiano verun' azione l'uno sull'altro: il fluido V del conduttore attrarrà del pari verso la punta *g* una certa quantità di fluido *r'* eguale a *r*, che proviene dalla scomposizione del fluido naturale dell'ago, mentre respingerà verso la parte opposta *d* un'altra quantità di fluido *v'* eguale a *v*. Ma considerando ancora l'azione reciproca dei due aghi, accaderà che i fluidi *r* e *v'* attraendosi scambievolmente, tenderanno a muoversi, uno da *a* verso *b*, l'altro da *d* verso *g*; e l'attrazione reciproca dei fluidi *r'* e *v* tenderà a portare l'uno da *g* verso *d*, l'altro da *b* verso *a*. Questi effetti fanno equilibrio in parte a quello del conduttore, per attrarre verso l'estremità di ciascun ago il fluido elettrico contrario al suo.

L'azione scambievole dei due aghi diverrà più energica ancora se questi vengano avvicinati fra loro, perchè opererà a una distanza minore e in direzioni meno oblique (43).

strappare a un tratto la coda d'un vecchio e magro cavallo, e a un altro uomo debole e mal sano, di strappare a un crine per volta la coda di un cavallo giovane e robusto. Questi col tempo, ottenne l'intento voluto. mentre gli sforzi del primo non fecero che eccitare le risa degli spettatori. *Ibid.* p. 152.

(47) Non può negarsi che questa dimostrazione dedotta dall'analisi di queste supposte forze non sia ingegnosa; ma la supposizione d'un solo fluido presenta una spiegazione molto più semplice di questi fenomeni.

La disposizione di un corpo a comunicare ad altri corpi o ad assorbirne elet-

688. In vece di due aghi supponiamone un gran numero uniti insieme in modo, che formino un corpo solo: in questo caso ancora opereranno essi gli uni sugli altri per distruggere in parte l'azione elettrica che il conduttore esercita sopra ciascuno di essi, e ciò con tanto maggior forza quanto che ritraggon vantaggio dall'essere vicini fra loro, relativamente alla situazione più lontana del conduttore; lo che è una conseguenza della solita legge a cui son soggette le forze elettriche, cioè della ragione inversa dei quadrati delle distanze. Ne segue dunque che il fluido dell'elettricismo resinoso sarà incomparabilmente meno condensato verso l'estremità del fascicolo degli aghi, di quello che non sarebbe stato all'estremità d'un ago solo.

Dall'altra parte ciascun ago esercita una reazione sul conduttore di cui esso attrae l'elettricismo; e perchè la forza di questa reazione produca l'effetto osservato, basta che sia rotto in un sol punto l'equilibrio fra la tendenza che ha l'elettricismo a sfuggire dal conduttore, e la resistenza dell'aria. Questa reazione sarà dunque molto più efficace per parte di un sol ago, all'estremità del quale l'elettricismo resinoso è condensatissimo, e l'attività del quale si dirige tutta verso un medesimo punto del conduttore, di quello che per parte di un fascicolo d'aghi, le forze dei quali si nuocono scambievolmente, e non sono mai abbastanza vicine fra loro; quindi un ago solo sarà capace di procurare un effluvio rapido di fluido elettrico, il quale abbandonerà il conduttore per precipitarsi sull'ago, e che l'ago stesso trasmetterà ai corpi circonvicini, dopo di che esso principierà nuovamente a trarre a se altro fluido, se si prosegua a caricare il conduttore.

Ma un corpo rotondo può paragonarsi a un fascicolo d'aghi, il quale non esercita che una debole azione per spogliare il conduttore del suo elettricismo, mentre un corpo terminato in punta trae a se potentemente questo elettricismo, con un'azione simile a quella dell'ago solo di cui abbiamo parlato.

tricismo, secondo che è elettrizzato positivamente o negativamente, è tanto maggiore, quanto maggiore è la quantità dell'elettricismo o soprabbondante o mancante, e quanto minore è la superficie del corpo stesso: dunque a misura che scema più o meno questa tensione o positiva o negativa, tanto meno o più facilmente si scarica un corpo elettrizzato: ma questa tensione è massima sopra una punta che presenta la minima superficie; dunque un corpo che termina in punta ha la più pronta disposizione a comunicare o ad assorbire elettricismo, tanto più che ad una forza di tensione che è andata sempre crescendo nei suddetti rapporti, si oppone uniformemente la costante resistenza dell'aria, come corpo coibente: quindi facilmente si spiega la ragione per cui una punta emette o assorbisce l'elettricismo insensibilmente, senza provocare scintilla, ec. Così si spiega egualmente il fenomeno del seguente paragrafo 689.

689. Se si fissi un ago in un punto qualunque del conduttore, si osserva che accade un effetto contrario al precedente, cioè il fluido elettrico è tramandato fuori dalla punta dell'ago in proporzione che arriva al conduttore. Questo effetto può spiegarsi nello stesso modo, supponendo primieramente molti aghi attaccati al conduttore, e considerando che le forze repulsive scambievoli delle porzioni di fluido sparse in questi aghi, fanno equilibrio all'azione esercitata dal conduttore, per spingere il proprio fluido verso le loro estremità. Possiamo ora sostituire col pensiero a una porzione qualunque d'un conduttore rotondato un fascicolo d'aghi, che esercitino gli uni sugli altri un'azione nel modo indicato. Frattanto se un ago superi gli altri in lunghezza, lo che è il caso d'un conduttore terminato in punta, questo ago si troverà libero da tutte le azioni repulsive che eserciterebbero sopra di lui altri aghi vicini, per impedire al conduttore di respingere una porzione del suo fluido verso l'estremità dell'ago stesso; e poichè questa porzione di fluido, la quale non occupa che una piccolissima superficie, tende a condensarsi moltissimo sopra questa, per far equilibrio da se sola a tutto il resto del fluido sparso intorno al conduttore, la sua densità diventerà tale ben presto da vincere la resistenza dell'aria, e il fluido sfuggirà dalla punta, a misura che verrà somministrato dal conduttore.

Fiocchetti elettrici.

690. Qualunque sia il modo con cui è elettrizzato un corpo acuto, nasce sempre alla sua estremità una luce visibile nell'oscurità, la quale però varia d'aspetto secondo la natura dell'elettricismo che agisce sul corpo acuto. Se un corpo di tal figura sia fissato sopra un conduttore elettrizzato vitreamente, il fluido vitreo escirà informa di un bel fiocchetto luminoso, i raggi del quale nell'escire ecciteranno nell'aria un moto di vibrazione accompagnato da un leggiero fremito: e se il conduttore è elettrizzato resinosamente, apparirà sull'estremità del corpo acuto un punto luminoso soltanto (48).

(48) Il fluido elettrico benchè ipotetico si può riguardare come simile al calorico. Elettrizzata positivamente una punta, l'elettricismo che per effetto della tensione esce da essa, non può tutto disperdersi in linea retta, quantunque tale sia la direzione che prende in principio; giacchè l'aria gli presenta una resistenza per cui si sparge e si diffonde a guisa di piccolo fiocchetto, ossia a guisa di cono che ha il vertice sulla punta metallica. Che se questa è elettriz-

691. Si osserverà la stessa diversità d'effetto se il corpo acuto, essendo in comunicazione con i corpi circostanti, avrà la punta voltata verso un conduttore elettrizzato; e su quella si osserverà un fiocchetto o un punto luminoso, secondo che il conduttore sarà elettrizzato resinosamente o vitreamente. Si può vedere questo doppio effetto, presentando una punta di metallo alternativamente al bottone e all'armatura esterna d'una boccia di Leida, caricata nel modo ordinario e poi isolata, nella quale operazione si vedranno succedersi l'uno all'altro il punto luminoso e il fiocchetto, divenendo però sempre meno visibili, finchè spariranno affatto, quando la boccia, la quale in tal modo viene a scaricarsi a poco a poco, sia tornata nel suo stato naturale.

Questa esperienza dà un mezzo facile e semplice per distinguere di quale specie d'elettricismo è caricato un conduttore, col solo presentare una punta metallica a pochi centimetri di distanza da esso. In seguito esamineremo meglio le circostanze che possono modificare in tal modo l'aspetto della luce prodotta da questa specie di fenomeni.

SCINTILLA ELETTRICA.

692. Quando si avvicina ad un conduttore elettrizzato un altro corpo di natura conduttrice e di forma rotonda, l'azione di questo, la quale è molto minore che nel caso di una punta, in principio non fa che attrarre nella parte anteriore del conduttore una nuova quantità di fluido, che ivi è trattenuta dalla resistenza dell'aria; questa quantità aumenta, e nel tempo stesso le due parti dei corpi che sono in faccia l'una dell'altra si elettrizzano tanto più, quanto più scema la distanza, finchè l'aria cedendo alla forza d'attrazione che fa muovere i due fluidi, questi fuggono con una specie di esplosione per unirsi l'uno con l'altro, e questa esplosione è accompagnata da una viva scintilla.

Chiunque ha veduto esperienze elettriche sa che un uomo posto sopra un isolatore, e messo in comunicazione col conduttore della macchina, diviene egli pure capace di scintillare, e di presentare varii altri fenomeni osservati per la prima volta da Dufay, estremamente maravigliato nel veder passati nell'osservatore quegli effetti che nella macchina stessa gli sembravano tanto singolari.

Si sa ancora che presentando a un uomo così elettrizzato un cuc-

zata negativamente, tendente cioè ad assorbire elettricismo da altri corpi, non potrà riceverne ad ogni istante se non quanto ne comporta la sua estremità acuta, la quale lo attrae a traverso di un punto dello strato d'aria vicina. Dunque in ambedue i casi il diverso aspetto sotto cui si presenta la luce elettrica, dipende dalla resistenza dell'aria e dalla direzione dei filetti elettrici.

chiaio pieno d'alcool un poco riscaldato, o di etere freddo, se egli accosta ad esso un dito, produce nel tempo stesso e luce e infiammazione.

PISTOLA ELETTRICA.

693. Una delle più importanti esperienze, relative alla facoltà che ha il fluido elettrico di abbruciare alcuni corpi, è quella che si fa per mezzo di un istrumento inventato dal famoso Volta, e chiamato *pistola elettrica*, la quale consiste in un vaso di ottone in forma di sferoide allungata, forata alle due estremità. In una delle due aperture si introduce un tubo di vetro che sia esattamente dello stesso diametro del foro, il qual tubo con un'estremità sporge un centimetro in circa fuori del vaso, e con l'altra va fin quasi a mezzo della cavità del vaso stesso: a traverso di questo tubo passa una verga metallica prolungata fuori del tubo dove termina con una pallina parimente di ottone, e per l'altra parte sorpassa egualmente il prolungamento del tubo nell'interno. L'altra apertura che è molto maggiore, serve a introdurre nel vaso una mescolanza di parti eguali di gas infiammabile e d'aria atmosferica, la quale apertura poi si chiude con un sughero Si prende quindi in mano il vaso per il suo corpo, e si presenta la pallina di metallo che sporge in fuori, a un conduttore elettrizzato per trarne una scintilla. Il fluido elettrico non potendo comunicarsi al vaso, perchè il tubo di vetro ne lo impedisce, scorre lungo la verga metallica che passa a traverso del tubo, e subito si accende il gas infiammabile, ed esce con una viva esplosione, lanciando con gran forza il sughero che si oppone al suo passaggio.

EFFETTI DELL' ELETTRICISMO NEL VUOTO.

694. Abbiamo veduto che il fluido elettrico o vitreo o resinoso in stato di libertà, non ha verun' affinità per i diversi corpi, e non è trattenuto sulla superficie di quelli, se non dalla resistenza dell'aria circostante. Basta questa osservazione per indicare, che se si tolga l'aria che circonda un corpo elettrizzato, il fluido sarà spinto dalla forza repulsiva scambievole delle sue molecole a spargersi nello spazio; e resulta dall'esperienza, che questa specie d'effusione è sempre accompagnata da luce. Si abbia un lungo tubo di vetro terminato da una parte con una ghiera d'ottone, e dall'altra da una chiave o *robinetto* da aprirsi per fare il voto nel tubo, e che quindi si chiuda esattamente: se si metta la ghiera a contatto con un conduttore che riceva continuamente nuovo

fluido per mezzo della macchina elettrica, e se nel tempo stesso si tenga il tubo per la sua chiave, si vedrà comparire come un torrente di luce porporina che empirà il tubo, e si rinnoverà continuamente: e se in vece si faccia scintillare il conduttore per mezzo della ghiera, diverrà ancora più risplendente il raggio di luce, che però in questo caso apparirà con piccole interruzioni. In molte maniere si può variare il fenomeno, modificando l'apparecchio destinato a produrlo, per far prendere al fluido la forma o d'una cascata o d'una spazzola o d'un sole, e moltiplicare per l'occhio i belli effetti di queste esperienze (49).

ODORE CHE SPARGE L' ELETTRICISMO.

695. Quando il fluido elettrico esce da un corpo, e passa a traverso dell'aria circostante, spesso accade che sparge un odore analogo a quello dell'aglio o del fosforo; il qual odore diviene sensibile specialmente per chi si avvicina molto al fascicolo luminoso, che esce da un corpo acuto, fissato sul conduttore della macchina.

Dell' Esperienza di Leida.

Eccoci alla spiegazione di uno dei fatti più importanti che sieno stati scoperti, relativamente all'elettricismo, cioè quello conosciuto sotto il nome di *esperienza di Leida*. Alcuni attribuiscono questa scoperta a Cuneo, altri a Muschenbroeck che subito la comunicò a Réaumur. Niun avvenimento straordinario eccitò mai una sensazione tanto generale, dimanierachè non vi era alcuno che non volesse farsi elettrizzare; ed era questa allora l'espressione generale con cui si indicava questa operazione, e che si è perpetuata, quasi che la singolarità dell'esperienza avesse fatto scordare, che esistevano molte altre maniere di elettrizzare un corpo. L'interesse ancora formò alcuni Fisici, i quali esponevano nelle piazze macchine elettriche, e il popolo accorreva per la prima volta ad ammirare maraviglie in vece di prestigii.

696. Ecco la maniera ordinaria con cui si fa l'esperienza. Si prende una boccia di vetro *a g* (*fig.* 85), e se ne copre la superficie esterna con foglie di stagno battuto o stagnola, fino a una certa altezza *c d*, e l'interno s'empie fino alla stessa altezza di piombo minuto o di foglie sottili di ottone. Nello spiegare gli effetti della boccia, considereremo questa materia interna come un'armatura simile a quella della superficie

(49) Vedi la nota 41., 2° *Fatto*.

esterna (50). La boccia è chiusa con un tappo di sughero attraversato da una verga *an* di metallo, che con l'estremità inferiore comunica con l'armatura interna, o con l'estremità superiore curvata e terminata con una pallina parimente metallica comunica col conduttore. Si prende con una mano la boccia per la sua base e si mette per qualche momento la pallina *b* a contatto col conduttore d'una macchina elettrica in azione; quindi si ritira la boccia, e si tocca la pallina *b* con un dito dell'altra mano, o con un corpo metallico che si tiene in questa mano medesima; e nel momento di questo contatto si prova una scossa più o meno forte nelle braccia, e specialmente nelle articolazioni, e talvolta ancora nel petto e in qualche altra parte del corpo.

697. Franklin adduceva per causa di questo fenomeno l'accumulazione del fluido elettrico sulla superficie interna della boccia, mentre un'egual porzione di quello della superficie esterna era scacciata nei corpi circonvicini dalla forza repulsiva del primo fluido. Ne seguiva dunque che la quantità assoluta dell'elettricismo contenuto nella boccia era la stessa di prima, poichè la superficie esterna aveva perduto tanto fluido, nel passare allo stato negativo, quanto la superficie interna ne aveva ricevuto dal conduttore nel passare allo stato positivo. La scarica dunque accadeva per mezzo d'un'improvvisa restituzione che la superficie interna faceva alla superficie esterna di tutto il fluido che essa aveva di più, per mezzo della comunicazione stabilita fra le due superficie (51).

Epino rese più esatta e più giusta questa spiegazione: e avvicinandoci noi ai principii di lui, cercheremo di darla secondo l'ipotesi dei due fluidi.

(50) Anzi per maggior sicurezza e stabilità sarà meglio foderare la superficie interna della boccia con foglia di stagno, applicandovela nello stesso modo con cui si applica alla superficie esterna.

(51) Tanto è vero che la quantità di fluido elettrico non è eguale dopo caricata la boccia e prima di caricarla, che se per mezzo di fili coibenti si tolgano le due armature di essa, dopo averla scaricata, quelle manifestano ancora qualche segno d'elettricismo. Ciò prova, che mettendo successivamente in comunicazione col conduttore le due superficie, quella elettrizzata positivamente comunica una porzione dell'elettricismo acquistato all'altra superficie, che relativamente a quella si trovava elettrizzata negativamente. Il vetro dunque in questo caso rappresenta quello strato d'aria di cui abbiamo parlato nella nota 41. Questa restituzione d'equilibrio non è ella dunque più naturale della combinazione di due fluidi che esercitino una forza ipotetica, quanto ipotetica è la loro esistenza?

IDEA GENERALE DELLA CAUSA DA CUI DIPENDE LA SCOSSA.

698. Per concepire più chiaramente il modo con cui si carica la boccia, rammentiamoci primieramente il caso in cui un corpo conduttore in stato naturale e non isolato, viene avvicinato a poco a poco al conduttore di una macchina ordinaria in attività (§. 673). In tal caso il fluido naturale del corpo è scomposto, e il fluido vitreo che resulta da questa scomposizione è respinto nei corpi circostanti, mentre il fluido resinoso è attratto verso l'estremità voltata verso il conduttore della macchina. La quantità di questo fluido cresce a misura che scema la distanza fra i due corpi, ma però non prosegue a crescere, se non finchè l'attrazione scambievole fra questo fluido e il fluido vitreo somministrato dalla macchina, divenga capace di vincere la resistenza dell'aria, e di obbligar quindi questi fluidi ad escire ciascuno dal suo corpo per riunirsi. Se si ponga ora fra i due corpi una lastra di vetro, che essendo nel tempo stesso e solida e impenetrabile dal fluido elettrico, opponga un ostacolo quasi invincibile alla riunione dei fluidi vitreo e resinoso, che nel caso precedente si aprivano agevolmente il passo fra le molecole mobili dell'aria, si potrà allora liberamente mettere il conduttore della macchina e il corpo non isolato a contatto con le facce della lastra di vetro, e da questa vicinanza deriverà uno sprigionamento più abbondante dei due fluidi, che però non potranno riunirsi. E se si supponga inoltre che ciascuna delle facce della lastra di vetro sia guarnita d'una foglia di metallo fino a una certa distanza dagli orli, per impedire la comunicazione d'una superficie con l'altra, ciascun fluido si spargerà sull'armatura situata dalla sua parte, e questo effetto che deriva dall'attrazione scambievole dei due fluidi, anderà crescendo fino a un certo limite che determineremo fra poco.

Questo è ciò che in generale accade quando si carica una boccia di Leida. Questo strumento non è altro che un intermezzo fra due fluidi, uno vitreo somministrato dal conduttore, l'altro resinoso somministrato dai corpi circonvicini, lo sprigionamento dei quali fluidi, molto più considerevole di quello che sarebbe senza questo intermezzo, prepara un esplosione che sarà molto più forte, quando in seguito questi fluidi si uniranno a un tratto nel momento della scarica.

SPIEGAZIONE DETTAGLIATA DEL FENOMENO.

699. Immaginiamoci che A B (*fig.*86) rappresenti un segmento della lastra di vetro che forma la pancia della boccia armata nel modo solito; *i n p l* una porzione della materia metallica contigua alla superficie interna, e *o x s t* una porzione della foglia di stagno che copre la superficie esterna; che D sia un conduttore il quale faccia parte d' una macchina elettrica, e con la sua estremità tocchi il metallo *i n*, e finalmente che *c h* sia una catena o qualunque materia conduttrice, aderente con un' estremità al metallo *o x*, e con l'estremità opposta in comunicazione col serbatoio comune.

Supponiamo che, messa in azione la macchina, il conduttore D acquisti una certa quantità di fluido vitreo: appena comincia a spargersi questo fluido sul metallo *i n*, la sua azione scompone il fluido naturale della catena e di tutti i corpi circonvicini ai quali può estendersi una tale azione; dal che si conclude, facendo qui un'applicazione dei principii esposti precedentemente (§. 698.), che la superficie *o x* deve caricarsi di fluido resinoso a scapito della catena e dei corpi vicini, mentre il fluido vitreo, escito dalla combinazione, è respinto per un verso contrario al moto del primo.

Sia *v'* una molecola di fluido vitreo che sfugga lungo la catena: sia R la quantità di fluido resinoso che in questo momento è sparso sulla superficie *ox*, e V quella di fluido vitreo che appartiene alla superficie *in*. La molecola *v'*, mentre obbedisce alla forza repulsiva del fluido V, è mossa dall'attrazione del fluido R che tende a ritenerla; e poichè la repulsione di V è superiore, e dall'altra parte esercita da maggior distanza un'azione sulla molecola *v'*, concluderemo che la quantità di fluido vitreo contenuto in V, è maggiore della quantità di fluido resinoso contenuto in R, lo che è più esatto che nella teoria di Francklin (§. 697), in cui le due superficie si suppongono egualmente elettrizzate una in più, una in meno.

Dall'altra parte le molecole che compongono il fluido di R tendono a sfuggirsi in virtù della lor forza repulsiva scambievole; ma questa forza è equilibrata dall'attrazione delle molecole del fluido V, le quali guadagnano in quantità ciò che perdono per parte della distanza. Queste ultime molecole sono egualmente spinte a slontanarsi, respingendosi scambievolmente; e questa forza non può essere interamente vinta dall'attrazione del fluido R, che è in quantità minore, e che opera da una distanza maggiore di quella della suddetta repulsione. In tal

modo esisterà una porzione eccedente del fluido V, la quale non sarà trattenuta che dalla resistenza dell'aria circostante.

Possiamo dunque figurarci che il fluido V sia composto di una porzione U che è trattenuta lungo *in* dall'attrazione di R, e di un'altra porzione *u*, le molecole della quale non trovano ostacolo all'effetto della repulsione loro scambievole, se non nella resistenza dell'aria (*a*).

Se si prosegue ad elettrizzare il conduttore D, la quantità di fluido di cui crescerà V, determinerà la scomposizione di una nuova porzione di fluido naturale contenuto nel corpo in comunicazione con *ox*; ma nel tempo stesso l'attrazione del fluido R, divenuto più abbondante, crescerà relativamente a ciascuna nuova molecola *v'*, che tende a fuggire: per la qual cosa la quantità *u* di fluido vitreo impiegata a compensar la distanza, dovrà crescere essa pure, e si arriverà ad un punto in cui il fluido *u* non avrà più che la forza necessaria per far equilibrio alla resistenza dell'aria; oltrepassato il qual termine, se si prosegua l'elettrizzazione, tutte le nuove molecole di fluido che verranno somministrate dal conduttore D, fuggiranno successivamente, cioè la lastra di vetro sarà arrivata al suo punto di saturazione. È chiaro infatti che in tal caso non potrà più sprigionarsi nulla dai corpi che sono in comunicazione con *o x*, perchè quanto V si sforzerebbe di respingere, per esempio, una molecola di fluido vitreo che escisse di combinazione, altrettanto R si opporrebbe con la sua attrazione per ritenerla.

700. Stando così le cose, se si stacchi la catena *c h*, e si applichi un dito sulla superficie *o x*, in virtù di questo contatto non accaderà nulla di nuovo, poichè non si fa che porre il dito in vece della catena, sopra ogni punto della quale operavano forze che si facevano equilibrio, come abbiamo osservato di sopra. Si tocchi ora col dito la superficie *i n*: in questo caso non ha più luogo l'equilibrio, perchè non v'è nulla che equilibri l'azione della porzione di fluido *u*, la quale è trattenuta soltanto dalla resistenza dell'aria. Questa porzione eccedente tenderà dunque a scomporre il fluido naturale del dito, e respingerà il fluido vitreo di esso verso le parti posteriori, e si unirà col fluido resinoso per comporre di nuovo il fluido naturale, che si perderà nei corpi circonvicini.

In quanto poi al fluido U, esso proseguirà ad esser trattenuto sulla superficie *i n* dall'attrazione del fluido R, e sarà così stabilito di nuovo l'equilibrio fra le forze elettriche riferite ai diversi punti di questa superficie. Sarà rotto però sulla superficie *o x*, perchè la porzione d'elettricismo resinoso che ivi era trattenuta dall'attrazione del fluido *u* tolto dal dito, non sarà più trattenuta che dall'aria adiacente. Dunque se si

(*a*) È chiaro che la quantità del fluido U sarà sempre minore della quantità del fluido R, come questa è minore di quella che è contenuta in V, ossia in U, *u*.

porti nuovamente il dito verso la superficie *ox*, accaderà una nuova scomposizione del fluido di questo dito in modo contrario, sicchè la parte vitrea dello stesso fluido si unirà con quella del fluido R che era in eccesso.

Facilmente ora si comprende, che applicando successivamente il dito sulle due superficie, ove l'equilibrio fra le forze elettriche sarà pure a vicenda disturbato, si arriverà a poco a poco a scaricare la boccia interamente, cioè ciascuna delle due superficie si spoglierà del suo eccesso di elettricismo vitreo o resinoso, dopo di che esse torneranno nello stato loro naturale. In simili casi si osserva, che il ristabilimento dell'equilibrio apparisce visibilmente ogni volta per mezzo di una piccola scintilla, che spicca fra il dito e la superficie toccata.

Che se invece di scaricare così a poco a poco la lastra di vetro, si applichino contemporaneamente le due mani sulle due facce opposte di questa lastra, tutti gli effetti che accadevano uno dopo l'altro nel primo modo d'operare, accaderanno nel tempo stesso; sicchè le due facce attrarranno i fluidi di specie diversa che fanno parte del fluido naturale delle due braccia, per combinarsi con questi fluidi, e respingeranno con la stessa celerità l'uno verso l'altro i fluidi eterogenei; e appunto da questa unione di effetti, che accadono con moltissima energia e in un momento impercettibile, dipende in generale la forte scossa che prova chi fa l'esperienza di Leida. Considerando soltanto le forze da cui dipende questo effetto, si vede che è questo un resultamento meccanico; ed è una doppia operazione d'analisi e di sintesi, se si concepiscano queste forze come se esistessero in certi agenti, l'idea dei quali è suggerita da una probabile teoria.

701. Quando si scarica la lastra di vetro per mezzo di ripetuti contatti, come abbiamo dimostrato poco fa, le quantità di fluido vitreo o resinoso che il dito toglie successivamente a ciascuna superficie *in* o *ox*, scemano necessariamente da un contatto all'altro. Biot avendo cercato col calcolo la legge di questa diminuzione, ha trovato questo importantissimo resultamento: che queste quantità di fluido formano una progressione geometrica (*a*).

(*a*) Ecco la dimostrazione di questo resultamento, quale ce l'ha confidata gentilmente il celebre autore. Sia A (*fig.* 87) la superficie della lastra di vetro che comunicava col conduttore, B quella che comunicava col suolo; chiamiamo E la quantità di fluido vitreo che era accumulato sopra A quando fu isolata la lastra, ed *e* la quantità di fluido resinoso che era fissato sopra B. Fra E ed *e* esisterà un certo rapporto dipendente dalla grossezza della lastra, il qual rapporto sarà costante per una stessa lastra, poichè se E si combina occultamente con *e*, *k* E si combinerà occultamente con *k e* a egual distanza: dunque fra *e* ed E si avrà l'equazione $e+mE=o$, essendo *m* una costante, positiva e minore dell'unità.

702. L'esperienza di Leida diveniva ancor più curiosa, perchè poteva farsi in società, dimanierachè più centinaia di persone poste in semicir-

Nel momento in cui si tocca A, una porzione del fluido che era ivi accumulato scorre nel suolo, e non resta che la quantità con cui e può occultamente combinarsi a distanza. Sia E' questa quantità; fra E' ed e esisterà lo stesso rapporto che fra e ed E, e quindi sarà $E'+me=o$, e la tensione in tal caso sarà per parte dell'elettricismo e. Se quindi si tocca B, resterà su questa superficie una certa quantità d'elettricismo che chiameremo e'; e allora la tensione nascerà nuovamente sull'altra faccia, e si avrà $e'+mE'=o$.

Rappresentando in tal modo gli effetti dei varii contatti, si troverà una serie di equazioni simili alle precedenti, e riunendole sotto un punto di vista, si avrà,

$$e+mE=o$$
$$E'+me=o$$
$$e'+mE'=o$$
$$E''+me'=o$$
$$e''+mE''=o$$
$$E^{(n+1)}+me^{n}=o$$

dove n indica il numero dei contatti sopra una delle facce. Di qui l'autore deduce i due seguenti sistemi di equazioni relativi a ciascuna faccia della lastra di vetro.

$$E'=m^2E \qquad e'=m^2e$$
$$E''=m^2E' \qquad e''=m^2e'$$
$$E^{(n+1)}=m^2E^{n} \qquad e^{(n+1)}=m^2e^{n}$$

Dal primo sistema si rilevano le quantità di fluido che restano successivamente sulla faccia A, e dal secondo quelle che restano sulla faccia B.

Con queste formule si possono calcolare queste quantità in funzioni delle prime, e si avrà

$$E'=m^2E \qquad e'=m^2e$$
$$E''=m^4E \qquad e''=m^4e$$
$$E^{(n+1)}=m^{2(n+1)}E. \qquad e^{(n+1)}=m^{2(n+1)}e.$$

le quali si vede che formano una progressione geometrica. Le differenze di esse indicheranno le perdite di fluido fatte successivamente dalle due facce in virtù dei contatti ripetuti, e saranno espresse da

$$E-E'=(1-m^2)E, \qquad e-e'=(1-m^2)e$$
$$E'-E''=(1-m^2)m^2E, \qquad e'-e''=(1-m^2)m^2e$$
$$E^{n}-E^{(n+1)}=(1-m^2)m^{2n}E, \qquad e^{n}-e^{(n+1)}=(1-m^2)m^{2n}e$$

E gettando una semplice occhiata su queste formule, si vede che le perdite che fa il fluido, relativamente a ciascuna faccia, mentre si scarica la lastra, sono egualmente in progressione geometrica decrescente, il rapporto della quale è m. Quindi quanto minore sarà la quantità m, tanto più rapidamente scemeranno le quantità residue del fluido e le perdite corrispondenti; sicchè dopo

colo, provavano tutte la scossa nel momento stesso. Per dare all'esperienza un' estensione maggiore, oltre le persone fu messo in comunicazione acqua, lunghi fili di ferro, e ancora qualche estensione di terreno. I Francesi furono i primi a far provare la scossa per uno spazio di duemila tese: gl' Inglesi la fecero sentire alla distanza di quattro miglia d' Inghilterra; e tutti tentarono di trovare la celerità con cui si propaga in questa esperienza il fluido elettrico, e i tentativi erano analoghi a quelli fatti per trovare la celerità del suono (§. 509); ma non fu possibile rilevare la minima differenza fra il momento di partenza, e quello del ritorno.

703. Se vogliamo servirci della boccia di Leida per sottoporre ai sensi la spiegazione che abbiamo data altrove (§. 699.) dei suoi effetti, supponendo che sia scaricata progressivamente per mezzo di ripetuti contatti sulle due superficie, basta elettrizzarla primieramente come abbiamo detto, quindi sospenderla per l'uncino *m* (*fig.* 85.) a un cordone di seta, o isolarla, e quindi toccare alternativamente la pallina *b* e la sua armatura esterna.

704. Se la boccia fosse isolata mentre la palla *b* è in contatto col conduttore della macchina, essa non si caricherebbe, specialmente se l aria fosse molto asciutta, e solamente la sua superficie interna riceverebbe dal conduttore una piccola quantità di fluido, la repulsione del quale essendo senza effetto sul fluido dello stesso nome, situato sull' armatura esterna, non potrebbe far passare questa allo stato opposto, come è necessario perchè la boccia si carichi.

705. La boccia si elettrizza tanto più facilmente, quanto è più sottile; poichè da una parte il fluido vitreo di *i l p n* (*fig.* 86) opera con maggiore energia su quello della parte opposta, in proporzione d'una distanza minore fra le due superficie: dall altra parte il fluido resinoso

pochi contatti esse diverranno così piccole, che non potremo più scorgerle, e la lastra apparirà interamente scaricata. E poichè il valore di *m* dipende dalla densità del vetro, si vede che una lastra sottilissima richiederà più tempo d'una lastra più grossa per scaricarsi in questa maniera.

A tutto rigore sarebbe necessario un seguito infinito di contatti per scaricare interamente la lastra di vetro; poichè se si uniscono le formule che indicano le perdite successive, supponendo queste continuate all' infinito, si trova che la somma di quelle è $(1-m^2)\,E\,(1+m^2+m^4+\ldots\ldots)$. La serie compresa fra le due parentesi ha per somma $\frac{1}{1-m^2}$, e ne segue che la somma totale delle perdite relative alla faccia A è eguale ad E; e si troverà egualmente che la somma delle perdite della faccia B è rappresentata da *e*. Ma è questo un caso matematico soltanto, e in generale accade che dopo un certo numero di contatti, non si scorge più la quantità d' elettricismo che rimane.

in stato libero sulla lastra *o t s x*, essendo più abbondante, divien capace di mantenere con la sua attrazione una quantità maggiore di fluido vitreo nella lastra *i l p n*; dal che segue che il punto di saturazione della boccia sarà più elevato di quello che se il vetro fosse stato più grosso. Nel medesimo caso le due quantità di fluido V ed R differiranno meno l'una dall'altra, ossia sarà minore la quantità *u*, la quale compensa ciò che la forza del fluido di *i l p n* perde relativamente alla distanza, poichè si troverà scemata la distanza stessa, in modo che questa quantità diverrà nulla, se si suppone il vetro molto sottile.

706 Poichè il vetro non impedisce mai perfettamente il passaggio del fluido elettrico, una certa quantità di fluido vitreo o resinoso penetra sempre a traverso della boccia, oppure è respinta da essa quando questa viene elettrizzata. Appena si scarica la boccia, questa porzione di fluido resta imprigionata nel vetro in conseguenza della forza coibente, e però essa non contribuisce nulla all'effetto che vien prodotto in tal caso; ma poi le sue molecole si sprigionano le une dopo le altre, e passano nell'armatura, nella quale fanno nascere una nuova disposizione a dare la scossa, quantunque molto più debole della prima volta. Ciò viene verificato spesso da coloro che dopo fatta l'esperienza di Leida, e credendo che la boccia sia ormai scaricata totalmente, la prendono di nuovo dopo un momento, e di nuovo accostando il dito alla pallina, provano un'altra scossa non aspettata, lo che può accadere più volte di seguito, quantunque con forza sempre minore.

707. Se si vuole scaricare la boccia senza provare scossa, basta servirsi d'una verga metallica *e f h* (*fig.* 90) curvata in arco e terminata con due palle, alla quale è stato dato il nome di *eccitatore*. Si prende in mano per la sua curva *f*, si appoggia la pallina *h* su qualche punto dell'armatura esterna della boccia, quindi si avvicina la pallina *e* alla pallina della boccia medesima, e così senza sentir nulla si produce la scarica, che è accompagnata da una forte scintilla. Con questa si può accendere ancora un fiocco di cotone, sol che si fasci la pallina *b* (*fig.* 85) di uno strato sottile di questa sostanza filamentosa, coperta di colofonio in polvere, e nel momento della scarica la scintilla accende questo cotone così preparato.

708. Una boccia di Leida si dice *elettrizzata vitreamente*, quando la sua armatura interna e il suo uncino sono in stato vitreo, come nel caso considerato di sopra; e quando si vuol caricare resinosamente, o in modo che la sua superficie interna sia nello stato resinoso, si prende per l'uncino, e si tiene con la superficie esterna a contatto col conduttore della macchina posta in azione, e ritiratala quindi si pone sopra un isolatore, e si riceve allora, se si vuole, la scossa, nel modo indi-

cato di sopra (§. 696). In questo caso, essendo caricata la boccia in una maniera inversa a quella con cui si caricava quando con l'uncino era in comunicazione col conduttore, inverso pure è il moto dei due fluidi, dall'unione dei quali resulta la scarica della boccia.

Apparecchio portatile per l'esperienza di Leida.

709. Senza ricorrere alla macchina elettrica, si può ottenere un effetto simile a quello prodotto da una boccia di Leida mediocremente caricata, per mezzo d'un apparecchio semplice e contenuto in un piccolo spazio, inventato da Ingen-Housz (a), e questo basta per far acquistare un'idea della scossa elettrica senza provarne la forza.

La boccia destinata a questo uso è simile a quella di Leida, se non che è molto più stretta, e di forma cilindrica: inoltre la verga metallica che passa a trasverso del sughero è retta in tutta la sua lunghezza, e termina in palla al principio del collo della boccia. Il resto dell'apparecchio consiste in un nastro di taffettà gommoso, lungo circa un metro ossia tre piedi, e in una pelle di gatto in forma di due ditali, fatta in modo da fasciare il pollice e l'indice, e col pelo al di fuori, perchè devon servire da confricatori.

Per far l'esperienza si attacca il nastro per un'estremità ad un punto fisso, sospeso poi liberamente nel resto; si infila nelle due dita della mano destra il confricatore, e con la sinistra si prende la boccia per la sua armatura esterna, e quindi con le due dita armate del confricatore si prende il nastro a tal distanza dal punto fisso, che la pallina della boccia possa situarsi fra questo punto e l'estremità superiore del ditale del pollice: si striscia poi il nastro in tutta la sua lunghezza col confricatore, e si segue con la pallina della boccia il nastro confricato, affinchè la boccia possa subito prender da questo l'elettricismo sviluppato dalla confricazione: si ripete più volte di seguito questa operazione, e quando si crede che la boccia sia abbastanza caricata, si provoca la scintilla come nelle esperienze ordinarie. Quando l'aria è favorevole a questo genere d'esperienze, questa operazione produce una scossa che si sente, quantunque moderata, fino alle articolazioni delle braccia.

L'effetto dell'esperienza sarà più pronto se uno tenga teso il nastro per le sue estremità mentre un altro eseguisce la confricazione.

(a) *Nouvel. Exper. et observ. sur diverses objets de Phys.* Paris 1785, t. I. p. 117 e seg.

QUADRO FULMINANTE.

710. In vece della boccia si fa uso qualche volta di un quadro di vetro, armato di stagnola da ambedue le facce, ma in modo che l'armatura non arrivi fino agli orli del quadro, dai quali resta distante circa 54 millimetri o 2 pollici Si mette questo quadro per piano sopra una tavola, interponendo fra la superficie inferiore di esso e la tavola una catena che scenda fino in terra: quindi per mezzo d'una verga o catenella di metallo si mette in comunicazione l'armatura superiore col conduttore della macchina. Quando l'apparecchio è elettrizzato molto, se si prende con una mano la catena che è in comunicazione con l'armatura inferiore, e si tocca con l'altra mano l'armatura superiore, si sente una scossa violenta, la quale però può evitarsi se si vuole, servendosi d'un eccitatore. Questo quadro è stato chiamato *quadro magico* o *quadro fulminante*.

CARICA PER CASCATA.

711. Si possono caricare insieme più bocce, disponendole nel modo seguente. Si sospende al conduttore della macchina una boccia, sotto la quale è attaccato un uncino; a questo se ne sospende un'altra, e così di seguito; e all'uncino dell'ultima si attacca una catena che comunica col terreno. Dopo ciò, mettendo in azione la macchina, il fluido vitreo che si accumula sull'armatura interna della prima boccia, scompone il fluido naturale dell'armatura esterna, e respinge la porzione vitrea di questo fluido nell'armatura interna della seconda boccia, e così di seguito; quindi è che tutte le superficie si caricano una per mezzo dell'altra, eccettuata la prima che riceve la sua carica dal conduttore, e l'ultima che riceve la sua dai corpi circostanti. Staccando la catena dell'ultima boccia, si potranno scaricar tutte ad una ad una, nel modo indicato per una boccia sola (§ 700), toccando alternativamente la palla che comunica con l'armatura interna della prima, e quindi l'armatura esterna dell'ultima (*a*). Si potranno ancora scaricare tutte insieme le bocce,

(*a*) Biot ha esteso a questo caso ancora l'analisi di cui si è servito per determinar la legge a cui son sottoposte le perdite di fluido, che fanno le due superficie d'una stessa boccia, per mezzo di successivi contatti. Per spiegare questo nuovo resultamento, si limita a considerare gli stati delle tre lastre di vetro (*fig.* 88) che comunicano fra loro, e che rappresentano tre bocce di-

risentendone la scossa, col toccare le bocce estreme con ambedue le mani nel modo consueto. Questa maniera di caricare più bocce sospese una all'altra si chiama *la carica per cascata.*

sposte come abbiamo detto. Supponendo perfettamente eguali queste lastre, si avrà primieramente

$$e + mE = o,$$
$$e_1 + mE_1 = o,$$
$$e_2 + mE_2 = o.$$

Ma in questo caso sono da osservarsi alcune condizioni particolari, cioè che e ed E_2 resultano dalla scomposizione del fluido naturale della faccia B, e che egualmente e_1 ed E_2 resultano dalla scomposizione del fluido naturale di B'. Di qui nascono due nuove equazioni da unirsi alle precedenti, cioè

$$e + E_1 = o,$$
$$e_1 + E_2 = o.$$

Se B'' è isolata, e se si tocchi la faccia A, tutte le quantità di fluido varieranno, eccettuato e_2; a indicandole con le stesse lettere si avrà

$$E' + me' = o, \qquad e' + E'_1 = o,$$
$$E'_1 + me'_2 = o, \qquad e'_1 + E'_2 = o.$$
$$E'_2 + me'_3 = o.$$

e così di seguito per ogni contatto.

Le formule relative al primo stato d'equilibrio, danno, eliminando,

$$e + mE = o, \qquad E_1 - mE = o,$$
$$e_1 + mE = o, \qquad E_2 - m^2E = o.$$
$$e_2 + m^3E = o.$$

sicchè le quantità di fluido nascosto sopra ciascuna faccia B, B', B'', sono in progressione geometrica decrescente. Accaderebbe lo stesso con qualunque numero di lastre messe in comunicazione, e l'ultima sarebbe sempre meno caricata della prima; e questa differenza sarà tanto maggiore, quanto minore sarà m, e in conseguenza crescerà in proporzione della grossezza delle lastre.

Combinando le formule relative al primo contatto, si trova

$$E' + m^3e_2 = o,$$
$$E'_2 + m^2e_1 = o,$$
$$E'_1 + me_2 = o.$$

e sostituendo ad e il suo valore si avrà

$$E' - m^6E = o,$$
$$E'_1 - m^5E = o,$$
$$E'_2 - m^4E = o.$$

Dunque la quantità E' di fluido che resta sulla faccia A dopo il primo contatto, è essa pure molto minore di quello che sarebbe stata nel caso di una sola lastra.

Digitized by Google

712. L'osservazione sull'effetto della scarica che è tanto maggiore, quanto è maggiore la superficie su cui si accumulano i due fluidi, ha suggerito l'idea di quelle potenti batterie, le quali resultano dall'unione di molti vasi di vetro armati di stagnola, che si mettono in azione tutti insieme. Con questo apparecchio un filo di ferro che si riguarda come una parte dell'eccitatore diventa incandescente, e si disperde in molti grani piccolissimi che sono nello stato di ossido. Se si pone una foglia d'oro fra due vetri serrati strettamente fra loro per mezzo d'una vite di pressione, in modo che una delle estremità di essa comunichi con l'armatura esterna dell'apparecchio, e l'altra con una delle palle dell'eccitatore, e si faccia quindi passare la scarica a traverso della medesima, essa vien ridotta in polvere, e resta come incrostata sul vetro. In egual maniera si uccide un uccello posto in modo da ricevere la scossa. Lo spettatore, spaventato dalla violenta esplosione che produce questi fenomeni, si maraviglia molto meno sentendo dire che la materia dell'elettricismo è eguale alla materia del fulmine.

713. Relativamente agli effetti che si osservano quando si fa passare la scossa a traverso di una lastra sottile di metallo, come abbiamo veduto nell'esperienza citata di sopra, sembra che la vera causa di quelli sia la forza espansiva del fluido elettrico, che dilata i corpi e slontana le molecole di essi l'une dall'altre. Se il metallo non è ossidabile immediatamente, l'azione di questa forza espansiva non fa che disperdere le sue molecole: e se in questo caso si eleva la temperatura, ciò accade perchè le parti le quali si dilatano più, comprimono quelle che si dilatano meno; dal che resulta una specie di condensazione, la quale produce uno sprigionamento di calore (§ 236). Berthollet e Charles avendo fatto passare alcune forti scariche elettriche a traverso di un filo di platino, osservarono che questo aveva acquistato soltanto un calore che essi giudicarono quasi eguale al calore dell'acqua bollente, incapace in conseguenza di produrre la fusione del platino. Che se il metallo è ossidabile facilmente, come un filo di ferro o di rame, le molecole si slontanano fra loro, poichè scema la loro affinità reciproca, e quindi acquistano una disposizione ad unirsi con l'ossigene dell'aria circostante; e in tal caso l'ossidazione stessa produce l'alto grado di calore a cui si trova esposto il metallo (*a*).

(*a*) *Statique chimique*, t. I, p. 209 e 263.

714. Uno fra i diversi resultamenti che si ottengono per mezzo dell' esplosione elettrica, ha dato motivo ai seguaci della dottrina di Francklin, di fare un' obiezione speciosa contro l' ipotesi dei due fluidi: ecco in che consiste questa obiezione. Sieno *a m b*, *c n d* (*fig.* 91) due conduttori metallici, uno dei quali *a m b* comunichi con la superficie interna di una batteria, e l' altro *c n d* con la superficie esterna. Se si ponga fra questi due conduttori una carta di cui GH rappresenti la proiezione verticale, in modo che *a m b* tocchi questa carta nella parte inferiore, e *c n d* nella superiore, e quindi si elettrizzi la batteria nel modo ordinario, si troverà un punto in cui i due fluidi si troveranno talmente accumulati nei conduttori, che dall' attrazione loro scambievole nascerà una scarica spontanea della batteria. In tal caso, la scintilla partendo dall' estremità *m* del conduttore che è in stato vitreo, striscia sulla superficie *m t* della carta, sulla quale forma una traccia di luce; nello stesso momento la carta è forata in *t*, e si scorge un punto luminoso all'estremità *n* del conduttore *c d n*. Questa esperienza si può spiegare supponendo un fluido solo, che dopo essersi accumulato sulla superficie interna della batteria, la lascia nel momento dell' esplosione, e precipitandosi sul conduttore *c n d*, si posa sopra la superficie esterna invece di quel fluido di cui era stata spogliata.

715. A favore della medesima opinione si citano ancora i diversi aspetti sotto i quali si presenta la luce che si scorge all' estremità d' un corpo acuto situato in presenza d' un conduttore elettrizzato. Quando si presentava all' occhio il fiocchetto, il fluido elettrico esciva dal corpo acuto per tornare al conduttore che era in stato negativo; e quando si vedeva il punto luminoso, era indizio che il fluido fuggiva dal conduttore elettrizzato positivamente, per portarsi verso la punta, la quale essendo nello stato opposto, attraeva a se questo fluido. Tremery, Professore di Fifica d' un merito singolare, per sciogliere queste difficoltà, ha immaginata un' ipotesi probabilissima, confermandola con ingegnosissime esperienze (*a*). Secondo tale ipotesi, la forza coibente dei corpi isolatori, cioè la resistenza che essi oppongono al moto del fluido elettrico nel loro interno (§. 647), non sarebbe la stessa per i due fluidi vitreo e resinoso, sicchè potrebbe accadere che in certi corpi, relativamente a uno dei fluidi, questa fosse infinitamente maggiore che relativamente

(*a*) *Journ. de Phys.*, Floréal an. x, p. 357 e seg.

all' altro. L' aria atmosferica sarebbe in questo ultimo caso, e opporrebbe moltissima resistenza al moto del fluido resinoso, mentre ne opporrebbe una infinitamente minore al moto del fluido vitreo.

In questa ipotesi, facendo uso dell' apparecchio descritto di sopra, accaderebbe che nel momento della scarica il fluido vitreo escirebbe dal conduttore *a m b*, per andare ad unirsi col fluido resinoso, trattenuto intorno al conduttore *c n d* dalla forza coibente dell' aria; e passerebbe a traverso della carta nel punto *t*, situato immediatamente sotto il punto *n*, lo che abbiamo veduto esser conforme all' esperienza.

Ora se per effetto d' una causa qualunque, come per un cambiamento nella densità dell' aria, la forza coibente di questa per il fluido resinoso potesse scemare, relativamente alla sua forza coibente per il fluido vitreo, dimanierachè le due forze giungessero ad eguagliarsi, i due fluidi nel momento della scarica si porterebbero uno verso l' altro in modo, che si scorgerebbe un fiocchetto luminoso sulla punta di ciascun conduttore.

Si potrebbe ancora supporre che la forza coibente per il fluido vitreo fosse maggiore della forza coibente per il fluido resinoso; e se quella fosse incomparabilmente maggiore di questa, si avrebbe il fenomeno opposto a quello che si osserva nel caso ordinario.

716 Per verificare questa teoria, Tremery ha posto sotto il recipiente della macchina pneumatica l' apparecchio rappresentato dalla *figura* 91, e ha fatto il voto fin che la pressione dell' aria indicata dalla *provetta*, non fosse che di 14 centimetri, ossia 5 pollici e 2 linee incirca. Elettrizzato quindi l' apparecchio, è accaduta l' esplosione in maniera, che la carta è stata forata nel punto *s*, quasi in mezzo dell' intervallo fra le estremità *m*, *n* dei due conduttori. Questo fenomeno singolarissimo indicava che, in forza della diminuzione sofferta dalla densità dell' aria, il rapporto fra le sue forze coibenti, relativamente ai due fluidi, era variato in modo che esse apparivano eguali (52).

Avendo quindi lo stesso Fisico introdotta nuovamente l' aria nel recipiente, ma a varie riprese, ha osservato che ad ogni grado di densità variava il punto in cui restava forata la carta, il quale si trovava

(52) Per la spiegazione del fenomeno, tanto è dire: *il rapporto delle sue forze coibenti relativamente ai due fluidi*, quanto dire: *il rapporto della sua forza coibente relativamente all' unico fluido elettrico*. Scemata infatti la densità dell' aria, è divenuto minore l' ostacolo che un corpo coibente opponeva alle forze diverse di tensione elettrica dei due corpi, nei quali l' elettricismo fuori del suo stato naturale doveva tendere a combinarsi per legge d' equilibrio.

però sempre fra il punto di mezzo s di essa e l'estremità *n* del conduttore elettrizzato resinosamente.

717. Or dunque si vede in che consista la differenza fra le due maniere in cui apparisce la luce, che si scorge all'estremità di un corpo acuto, secondo la diversità delle circostanze. Se il corpo acuto è situato in faccia a un conduttore caricato di fluido resinoso, il fluido vitreo di quello escirà in forma di raggi divergenti, per portarsi verso il conduttore, dove il fluido resinoso che lo attrae è trattenuto dalla forza coibente dell'aria: e se all'opposto il conduttore è elettrizzato vitreamente, il suo fluido sarà attratto dal corpo acuto, e l'unione di questo fluido col fluido resinoso, la quale accaderà soltanto all'estremità del corpo stesso, produrrà il punto luminoso che ivi si scorge.

Descrizione di alcuni strumenti elettrici particolari.

I Fisici hanno inventato molte specie di strumenti adattati a varie esperienze, e che hanno ognuno uno scopo particolare; e di quattro di questi specialmente ci sembra importante la spiegazione.

ELETTROFORO.

718. È stato chiamato elettroforo un apparecchio che ha la proprietà di conservar lungo tempo la sua virtù elettrica. Questo è composto d'un disco *s t* (*fig.* 92) di materia resinosa, su cui si pone un disco di metallo *a g*, nel centro del quale è impiantato un cilindro di vetro *m n*. Prima di tutto si elettrizza il disco di resina, battendolo con una pelle di lepre o di qualunque altro animale peloso, quindi si applica sopra di esso il disco metallico, toccando questo con un dito per qualche momento; e ritirato il dito, si alza questo disco, prendendolo per il suo manico di vetro *m n* che serve a conservarlo isolato. Se quindi si presenta ad esso un dito o un eccitatore, si vede comparire una scintilla fra l'uno e l'altro. Ponendo di nuovo il disco metallico sul resinoso, senza elettrizzar questo un'altra volta, e ripetendo come prima l'operazione, si otterranno nuove scintille quasi di egual forza; e se per eccitatore ci serviamo della pallina che fa parte della boccia di Leida, in poco tempo arriveremo a caricarla.

719. Per spiegare questi effetti, osserviamo che appena si pone il disco metallico sul disco resinoso *s t* elettrizzato, il fluido resinoso di questo attrae a se il fluido vitreo di quello, il qual fluido non potendo passare nella resina, perchè isolatrice per natura, resta sulla superfi-

cie inferiore del disco; e nel tempo stesso il fluido resinoso di questo si trova respinto verso la superficie superiore. Ma poichè il disco non ha che la sua quantità naturale di fluido elettrico, il quale solo è scomposto, per questa ragione sola il suo fluido resinoso opera sul dito che è a contatto col disco stesso, più potentemente del fluido vitreo che è a una distanza maggiore (§ 673). Ma quest' azione è aiutata ancora da quella del fluido dello stesso nome che appartiene alla resina, e quindi il fluido vitreo, il quale fa parte del fluido naturale contenuto nel dito, sarà attratto dal disco metallico, e si unirà col fluido resinoso sparso sulla superficie superiore. Dunque se dopo aver ritirato il dito si alza il disco metallico, questo si troverà nello stato d' elettricismo vitreo; dopo di che facilmente si comprende il restante (53).

Ordinariamente il disco di materia resinosa ha per sostegno un altro disco metallico, sul quale si versa questa materia quando è in stato di fusione. Così il fluido che occupa la superficie superiore del piatto esercita la sua azione a traverso della grossezza di questo sul disco aderente alla sua superficie inferiore; ma noi non consideriamo quest'azione, la quale è pur debolissima, per considerare soltanto la prima, la quale sola è diretta all' effetto che si vuole ottenere.

720 Il piatto dell' elettroforo può servire per produrre uno di quei fenomeni che eccitano la maraviglia, e nel tempo stesso invitano a indagarne la causa. Si carichi resinosamente una boccia di Leida (§. 708), e quindi tenendola in mano per la sua armatura esterna, si percorra con la palla di essa una porzione della superficie del piatto, come per segnare una lettera; si scarichi poi la boccia per mezzo dell' eccitatore (§. 707), e si elettrizzi vitreamente; quindi si percorra di nuovo con la pallina la superficie del piatto, come per formare un contorno alla lettera già segnata nell' operazione precedente.

Dopo ciò, si prenda una specie di piccolo soffietto di forma quasi cilindrica, costruito in modo che quando si fa agire, le due pa-

(53) Qui pure, cambiando semplicemente maniera d' esprimersi, apparisce chiara la spiegazione del fenomeno. Introdotto il disco deferente isolato nell'atmosfera d' un corpo elettrizzato, deve risentire l' effetto dell' elettrizzamento di quello, il quale elettrizzato, per esempio, negativamente, come in questo caso, deve sviluppare una tensione positiva nel corpo introdotto nella sua atmosfera; e ciò tanto più rapidamente quanto meno denso sarà lo strato d' aria che divide i due corpi. Tutto il resto si intende naturalmente, come naturale è pure la spiegazione del fenomeno citato qui appresso al §. 720, in conseguenza di quanto dicemmo relativamente alla confricazione nella nota 31. Ciò è conforme ancora all'opinione dell'Volta, il quale osservò (Lett. 3. al Prof. Lichtenberg) che in generale tutti i conduttori, eccettuati i metalli, ridotti in piccoli frammenti, a confricati, si elettrizzano molto facilmente.

reti che gli servon di base si avvicinano e si allontanano alternativamente l'una dall'altra. Per mezzo d'un'apertura fatta alla base superiore di questo soffietto, si introduce in esso una mescolanza di due polveri finissime, cioè solfo e minio o ossido rosso di piombo, e quindi si chiude quest'apertura, con un pezzo di tela finissima da stacci. Si agita quindi il soffietto in maniera da far volare una nuvoletta leggiera di polvere sopra la superficie del piatto, sul quale resterà sparsa. Si vede allora apparire nel mezzo di questa superficie un carattere rossastro, composto di particelle di minio, le quali si son disposte sui punti percorsi dalla pallina della boccia di Leida elettrizzata resinosamente; e il contorno segnato dalla boccia vitreamente elettrizzata, apparisce di un colore giallastro, lo che indica che su questo si son disposte le particelle di solfo sparse col soffietto.

721. Per spiegare questi effetti osserviamo le circostanze che accompagnano questa esperienza. La pallina della boccia, caricata in principio resinosamente, comunica un elettricismo della stessa natura a tutti i punti del piatto di resina per i quali passa; come pure comunica elettricismo contrario agli altri punti che tocca nella seconda operazione, quando è elettrizzata diversamente. Quando poi si mette in opera il soffietto, le due polveri nell'agitarsi si elettrizzano per mezzo della scambievole confricazione fra loro, sicchè il solfo acquista l'elettricismo resinoso, e il minio l'elettricismo vitreo: ne segue dunque che il solfo si porta sui punti del piatto che sono nello stato d'elettricismo vitreo, e il minio obbedisce all'attrazione di quelli che sono in stato di elettricismo resinoso (§. 662); e così il piatto fa come una scelta delle particelle, che devon rendere visibili i segni delineati invisibilmente dai due fluidi.

Osservando attentamente ciascuna di queste figure, si vede che le particelle di solfo applicate sulla parte del piatto elettrizzata vitreamente, son disposte in forma di piccole nappe, e le particelle di minio disposte sulla parte resinosa, non danno alcun segno di divergenza. Questi due aspetti diversi sono analoghi a quelli che si osservano nei corpi acuti, che tramandano raggi a guisa di fiocchetti, quando il loro elettricismo è vitreo, e presentano punti luminosi soltanto, quando è resinoso (§. 690). Quindi è che abbiamo esposta l'esperienza in un ordine corrispondente a questa diversità di effetti, poichè i piccoli fiocchetti che devon formare l'ornamento del quadro, produrrebbero anzi una confusione nella figura di mezzo che deve leggersi.

CONDENSATORE.

722. Volta ha inventato un altro strumento detto *Condensatore*, il quale serve a rendere sensibili piccolissime quantità d'elettricismo, sviluppate dai corpi circostanti, attraendole e accumulandole sulla sua superficie. Questo strumento è quasi simile all'elettroforo (54), se non che in vece del piatto di resina, ha un disco formato di una di quelle materie che non isolano perfettamente, e che formano una classe media fra i conduttori e gl'isolatori, come sarebbe il marmo bianco. Figuriamoci che il disco posto sopra un piatto di tal sostanza, riceva per comunicazione un debole grado d'elettricismo, che supporremo resinoso. Il fluido di questo elettricismo scomporrà alquanto il fluido naturale del marmo bianco, respingendo al basso il fluido resinoso, e attraendo in alto il fluido vitreo: il marmo pure eserciterà un'azione sul disco, in virtù del suo elettricismo vitreo che esercita la sua azione più da vicino, per conservare sopra di esso la piccola porzione d'elettricismo resinoso comunicato. Ma dall'altra parte arrivando una nuova quantità di fluido nel disco metallico, scomporrà un'altra porzione del fluido naturale contenuto nel marmo, che acquisterà esso pure un nuovo grado di forza attrattiva, e così di seguito. Il marmo dunque, come semi-conduttore, lascia al fluido una certa libertà di muoversi in esso; ma poichè è ancora in parte isolatore, il fluido resinoso del disco, che egli attrae a se, si trova trattenuto dalla resistenza che prova nel punto di contatto, il quale accade fra superficie piane; e la figura rettilinea è meno favorevole della figura curvilinea all'effetto dell'attrazione. Dunque le piccole quantità d'elettricismo che riceve successivamente il disco, proseguiranno ad accumularsi sopra di esso, finchè alzandolo e presentandogli il dito, se ne potrà trarre una più o meno viva scintilla.

ELETTROMETRO DI CAVALLO.

723. L'elettrometro di Cavallo consiste in due palline di midolla di zambuco, d'un piccolissimo diametro, sospese per mezzo di due capelli a una pallina di rame fissata nell'apertura di una specie di collo di fiasco. Si presenta un cannello di cera di Spagna, elettrizzato per confricazione, a una piccola distanza dalla palla, tenendo nel tempo

(54) Quindi il fenomeno che in esso si osserva, si spiega come quello che si osservò nell'elettroforo.

stesso un dito a contatto con la medesima, si ritira quindi prima il dito e poi la cera; e con un ragionamento simile a quello che abbiamo fatto per l'elettroforo (§. 719), si vede chiaramente che tutto l'apparecchio essendo allora caricato di elettricismo vitreo, le due palline debbono respingersi e star così distanti l'una dall'altra; e tutte le volte che si presenti di nuovo la cera a una certa distanza dal punto di sospensione, le palline si avvicineranno, perchè la cera riporta nella palla di rame una porzione dell'elettricismo delle palline (55). Avvicinando sempre più il cannello di cera, potrà accadere che le palline perdendo tutto il fluido che hanno acquistato, tornino nello stato naturale, e giungano a toccarsi; allora se si accosti sempre più il cannello di cera, la forza del suo elettricismo resinoso, facendo accumulare una maggior quantità di fluido vitreo verso il punto di sospensione, scomporrà il fluido naturale delle palline, le quali passeranno così allo stato elettrico resinoso, e nuovamente si respingeranno; sicchè agli occhi di un osservatore non istruito nella teoria, parrebbe questa una contraddizione con la precedente osservazione, quando accostandosi il cannello al punto di sospensione, le palline venivano mosse l'una verso l'altra.

724. Per mezzo di questo elettrometro si può facilmente distinguere la specie di elettricismo di qualunque corpo. Per esempio nel caso citato di sopra, qualunque corpo elettrizzato vitreamente, se venga accostato alla palla che termina l'apparecchio, farà slontanare maggiormente le due palline di midollo di zambuco; e se al contrario il corpo è elettrizzato resinosamente, le palline tenderanno a ravvicinarsi l'una all'altra.

Se si attacchi alla palla di metallo un ago terminato in punta finissima, e si esponga questo apparecchio sopra una finestra in tempo di burrasca, si vedranno spesso le palline slontanarsi naturalmente l'una dall'altra; ed elettrizzandole nel modo indicato, si potrà conoscere di quale specie di elettricismo sia carica l'atmosfera.

ELETTROMETRO CONDENSATORE.

725. Se gli effetti del condensatore si suppongono combinati con quelli dell'elettrometro di Cavallo, si avrà l'idea di un quarto strumento, destinato da Volta ad un uso singolare, servendosene egli per determinare gli effetti dell'elettricismo galvanico di cui parleremo in seguito. La parte di questo strumento che fa l'ufizio di elettrometro, è composta di due fili di paglia *or*, *us* (*fig.* 93), i quali devono essere eguali e retti. Si sospendano questi per mezzo di due fili sottilissimi di metallo

(55) Ved. la nota 41.

terminati a uncino, saldati a un piccolo pezzo di metallo che fa da otturatore al collo di una piccola boccia, e si sospendano in modo che possano muoversi liberamente. Sopra lo stesso otturatore è posto a vite un piatto o disco di ottone *cd*, guarnito nella superficie inferiore di un filo metallico che termina con un piccolo globetto *g*: il qual disco è stato chiamato *piatto collettore*, perchè serve a raccogliere le piccole quantità di fluido elettrico che vogliamo rendere sensibili con l'accumularle. Su questo piatto ne è posto un altro *ab*, al quale è attaccato un cilindro di vetro *mn*, il qual disco comunica con i corpi circonvicini per mezzo di una lastra metallica *ily*, piegata in modo che non tocchi il piatto collettore: ciascun piatto è verniciato sulla superficie per cui è a contatto con l'altro: la boccia ha all'esterno una graduazione *tz*, per mezzo della quale si giudica a un dipresso dell'allontanamento dei due fili di paglia, che prendono varie direzioni come *o'p*, *u'x*, ma che non basta a dar la misura della forza elettrica da cui resulta questo allontanamento; poichè oltre la poca esattezza di una tal misura considerata in se stessa, questa non è proporzionata alla forza che è in ragione inversa del quadrato della distanza, e l'azione della quale è in questo caso alterata dall'effetto della gravità che fa muovere i fili suddetti in modo contrario all'allontanamento prodotto dall'elettricismo.

A misura che il piatto collettore riceve successivamente sul globetto *g* piccole quantità di fluido elettrico, per mezzo di ripetuti contatti della sostanza che somministra questo fluido, che supporremo vitreo, accade una scomposizione del fluido naturale contenuto nel piatto superiore *ab*; dimanierachè il fluido resinoso attratto verso il piatto collettore, si trova trattenuto dagli strati di vernice interposti fra i due dischi, mentre il fluido vitreo fugge a traverso della lastra metallica *ily*. Dopo un certo numero di contatti, si alza il piatto superiore *ab*, e nel momento i fili di paglia si slontanano; e per sapere di quale specie è l'elettricismo da cui sono mosse, e nel tempo stesso quello che è stato somministrato al piatto collettore, si usa quel mezzo medesimo che abbiamo indicato parlando dell'elettrometro di Cavallo (§. 724).

In questo strumento il piatto collettore rappresenta il disco metallico del condensatore ordinario, e il piatto superiore produce l'effetto stesso del piatto di marmo, con questa differenza, che in questo i fluidi si muovono liberamente, e l'ostacolo che impedisce ad uno di essi di passare nel piatto collettore è una sostanza isolatrice intermedia.

726. Molti fisici avevan già sospettata l'identità del fluido elettrico con la materia del fulmine, quando Francklin, dopo aver riconosciuto il potere delle punte di cui già parlammo (§ 686), propose di alzare in aria una verga di ferro terminata in punta acuta, e di servirsene per verificare questa analogia. Dalibard fu uno dei primi a mettere in esecuzione questa idea di Francklin; e a questo fine fece costruire vicino a Marly-la-Ville una capanna sopra la quale era fissata una sbarra di ferro lunga 13 metri o 40 piedi, e isolata in basso. Essendo passata una nube tempestosa in vicinanza di questa sbarra, accostando un dito alla medesima vide egli nascere alcune scintille, nel che fu riconosciuto l'effetto dei conduttori ordinarii elettrizzati con le nostre macchine.

727. Romas a Lilla fu tanto ardito da mandare verso la nube stessa un cervo volante, armato di una sbarra terminata in punta, la corda del quale era contorta con un filo di metallo fino a una certa distanza dal punto in cui era attaccata al medesimo, e il restante era un cordone di seta destinato a isolare l'apparecchio e a preservare l'osservatore dall'esplosione. Si videro escire da questo apparecchio alcuni getti di luce di 32 decimetri o 10 piedi di lunghezza, con un rumore simile a un colpo di pistola. Tali esperienze sono accompagnate da pericoli sì evidenti, supposte ancora tutte le possibili precauzioni, che non possono tentarsi se non da coloro nello spirito dei quali la curiosità ha più forza del timore; e molti fisici rovesciati a terra dalle scosse che ricevettero nel trarre scintille da un apparecchio che comunicava con l'interno delle loro stanze, hanno dovuto pentirsi di avere introdotto in quelle un ospite tanto formidale. Il famoso Richman, professore di fisica a Pietroburgo, perdette la vita in una circostanza in cui gli pareva di dover rendere maravigliosa la sua lezione; e fu rovesciato ai piedi dell'apparecchio stesso che aveva preparato per misurare la forza dell'elettricismo delle nubi (56).

(56) Ricordandoci di quanto dicemmo (n. 31) relativamente agli effetti elettrici della confricazione in generale, e quindi generalizzando e applicando all'aria atmosferica, secondo l'opinione del Volta, ciò che abbiamo detto (n. 48) relativamente all'elettricismo che si sviluppa dai corpi ridotti in piccoli frammenti, si spiegano facilmente tutti i fenomeni riguardanti la meteorologia elettrica. Volta (Lett. 3. al Prof. Lichtenberg) confermò l'opinione di Beccaria, che l'elettricismo dell'aria serena è sempre *per eccesso* o *positivo*: inoltre scoprì che i vapori nel momento in cui si formano, e si mescolano con l'aria atmosferica, si arricchiscono di fluido elettrico a scapito dei corpi evaporanti, i quali perciò restano elettrizzati in meno o *negativamente*; e però

Dei lampi e del fulmine.

728. L'azione esercitata dagli strumenti di cui ci serviamo per le esperienze elettriche, è tanto lungi dal presentare una specie di paragone fra l'energia di quella e il potere di questa formidabile meteora, che fu creduto per lungo tempo che non avessero fra loro alcuna analogia. Ma nello stato presente delle nostre cognizioni, dacchè le osservazioni hanno provata la più perfetta rassomiglianza fra le cause che producono quegli effetti, basta osservare di nuovo gli effetti della prima, per vedere queste cause stesse somigliantissime nel modo di operare, tanto relativamente ai grandi fenomeni prodotti dall'elettricismo naturale, quanto ai resultamenti di quello che viene sviluppato dai deboli mezzi che abbiamo in nostro potere.

729. Quando una nube mediocremente carica di elettricismo, tramanda dalle sue parti più prominenti certi bagliori spontanei, che sono deboli lampi per noi, abbiamo il termine di paragone nei fiocchetti luminosi che escono tacitamente dalle punte fissate sul conduttore che elettrizziamo, o dalle piccole scabrosità che alterano la levigatezza della superficie.

730. Quando una nube saturata di fluido elettrico si avvicina a una fabbrica o a qualunque altro corpo situato nella sua sfera d'attività, in modo da potere esser fulminato dall'esplosione di questa nube, accompagnata da un vasto lampo e da un rumore formidabile, si osserva in tal caso quel fenomeno di cui non era che una languida immagine lo scoppiet-

concluse che l'origine dell'elettricismo atmosferico positivo resultava dal disfacimento e dalla condensazione di questi medesimi vapori; sicchè sembra che i liquidi nel passare allo stato di fluidi elastici acquistino maggior capacità non solo per il calorico ma ancora per l'elettricismo.

E questa forse la ragione per cui in tempo di burrasca e di nebbia, l'elettricismo dell'atmosfera è molto più energico: così pure si spiega perchè la quantità dell'elettricismo è varia secondo le varie altezze dell'atmosfera in cui regna.

Frattanto, ammessa una circolazione costante d'elettricismo fra l'atmosfera e la terra, eseguita per mezzo dei corpi deferenti, ogni qualvolta esista un disequilibrio in questo genere, prodotto, come si diceva, dai vapori o da qualunque altra causa, deve ristabilirsi l'equilibrio, e ciò con tanto maggiore energia e con effetti tanto più violenti, quanto maggiore era il disequilibrio. Con questi principii si spiegano i fenomeni prodotti dall'elettricismo atmosferico. Ci limitiamo a indicare queste idee principali che bastano al nostro intento; ma nell'opere del Volta, e specialmente nelle sue lettere al Prof. Lichtenberg sulla meteorologia elettrica, potrà vedersi diffusamente sviluppata questa teoria, e confermata da convincentissime esperienze.

tio della scintilla, che si provocava accostando al conduttore elettrizzato un dito o qualunque altro corpo nello stato naturale.

731. Quando finalmente due nubi situate una sopra l'altra a una giusta distanza, sono elettrizzate in modo contrario, la doppia azione che ne resulta produce il fenomeno più energico in questo genere. Infatti i due fluidi mossi dalle attrazioni loro scambievoli si precipitano con violenza uno sull'altro; e lo spaventevole rumore delle esplosioni che si succedono senza interruzione, accompagnate da lampi vivissimi, sembra che annunzi ad ogni momento la caduta del fulmine. Ma il fenomeno è trattenuto nello spazio compreso fra le due nubi, dalle due attrazioni che lo hanno prodotto, e quindi la terra è sicura dagli effetti di esso (*a*), sicchè tutto l'apparecchio che eccitava tanto timore, terminerà con una calma inaspettata, se pure talora non ne segue una grandine disastrosa che può formarsi in questa circostanza, come diremo fra poco. Questo fenomeno ancora ci viene rappresentato dalle *scariche elettriche* delle nostre macchine, come di una gran boccia di Leida, quando una viva scintilla che spicca fra l'eccitatore e la palla metallica a cui lo avviciniamo, indica la riunione istantanea dei due fluidi accumulati sulle due superficie dell'armatura; e non passa altra differenza fra questo fenomeno e quello dell'atmosfera, se non che i due fluidi dell'armatura della boccia, non potendo riunirsi immediatamente come quelli delle due nubi, perchè il vetro impedisce a loro il passaggio, giungono ad unirsi per mezzo d'un giro a traverso dell'eccitatore.

È difficile trovare in fisica un altro fenomeno, in cui l'uomo con mezzi artificiali abbia sì fedelmente imitata la natura.

Dei Parafulmini.

732. Quando Franckliu immaginò di attrarre in silenzio la materia del fulmine, ebbe sicuramente un fine più filosofico di quello che sarebbe stato il far semplicemente un'esperienza elettrica. Pensava infatti che rizzando sopra una fabbrica una verga di ferro terminata in punta acuta, e mettendola in comunicazione con la terra, potrebbe essa preservare la fabbrica da una esplosione, attingendo per così dire il fluido delle nubi tempestose che passassero vicino a lei. Con questo fine sono stati costruiti in varii paesi tali strumenti, ai quali è stato dato il nome di *parafulmini*.

733. Beyer, ingegnosissimo artista in varii generi, e che si era occu-

(*a*) Memoria di Volta sulla formazione della grandine. *Journal. de Phys.*, an. 1809, t. LXXIX, p. 345.

pato specialmente nel costruire parafulmini, immaginò di terminare la verga di questo strumento con una punta di platino, perchè è il metallo più duro e meno ossidabile d'ogni altro. Per conduttore poi si serviva di corde formate di fili di ferro intrecciati e coperti con uno strato di vernice grassa; la qual corda prolungava egli fino all'orlo d'un pozzo, e qui l'attaccava ad una verga di ferro immersa nell'acqua con la sua estremità inferiore. E vantaggiosissimo è l'uso di questa materia conduttrice, perchè richiede un tempo molto minore per la comunicazione da stabilirsi fra la verga e il serbatoio comune; e relativamente alla fabbrica stessa, scema i danni e le riparazioni che accompagnano sempre un'operazione di questo genere.

734. Alcuni fisici hanno riguardati come incontrastabili i vantaggi dei parafulmini; altri hanno creduta l'azione loro troppo debole per assicurare una fabbrica, come un mezzo debole sarebbe un semplice tubo per votare le acque di un fiume vicino a straripare; alcuni ancora hanno preteso che i parafulmini fossero più adattati a provocare la caduta del fulmine sulla fabbrica, che a prevenirla. Ma dacchè l'esperienza ha fatto vedere che un'esplosione, la quale dall'altra parte era inevitabile, è accaduta sulla punta stessa dei parafulmini, senza che nulla ne soffrisse la fabbrica, non può mettersi più in dubbio l'utilità di quelli. Son già molti anni da che fu presentata all'Accademia delle Scienze una verga di parafulmini, sulla quale era caduto il fulmine, come appariva dalla punta di esso che era smussata e sembrava fusa, ma la casa era restata salva, perchè il fluido elettrico aveva seguita la comunicazione stabilita fra la verga e il seno della terra. Quando però vogliamo elevare i parafulmini sopra fabbriche di una certa estensione, bisognerà moltiplicarli; ma non devono porsi troppo vicini, perchè si nuocerebbero fra loro, come vedemmo (§. 688) accadere in molte punte poste in faccia a un conduttore elettrizzato, le quali si impedivano scambievolmente di attrarre tacitamente il fluido del medesimo; ma devono però esser tanto vicini fra loro, che le proprie sfere di attività non lascino veruno spazio intermedio; ed è stato giudicato che il raggio di tali sfere è dieci metri in circa, ossia 30 piedi, e quindi basterebbe porre i parafulmini a una distanza di 20 metri o 60 piedi l'uno dall'altro.

Da tutto questo si rileva che l'effetto dei parafulmini non si limita soltanto ad assorbire tacitamente il fluido elettrico, lo che pure è per se stesso un vantaggio importantissimo, ma il massimo utile ne resulta, quando tutto annunziando una vicina esplosione, esso è pronto a riceverla, e a far prendere al fluido quella strada che fu anticipatamente fissata dal fisico accanto alla fabbrica, senza che essa ne resti scossa o danneggiata.

Contraccolpo.

735. Fra le diverse maniere con cui l' esplosione del fulmine può divenir funesta a chi si trova sopra un terreno dominato da una tempesta, ve n'è una che sembra inesplicabile; cioè un uomo o un animale, che sia molto lontano dal punto in cui scoppia il fulmine, può nondimeno esser ferito pericolosamente, o perdere ancora la vita per effetto dell'esplosione, come qualche volta è accaduto. Milord Mahon dotto fisico inglese, il quale nel suo *Trattato dell' elettricismo* ha studiato moltissimo questo effetto singolare, ne trova la spiegazione in un ristabilimento d'equilibrio, a cui ha dato il nome di *contraccolpo* (*a*), e che noi spiegheremo per mezzo della teoria dei due fluidi.

Sia *ab* (*fig.* 94) il conduttore d'una macchina ordinaria posta in azione; supponiamo che dietro a questo conduttore ne sia posto un altro *cd* isolato e nello stato naturale, a tal distanza che non possa trarre veruna scintilla dal primo; e finalmente supponiamo un terzo conduttore *ef* non isolato, situato tanto vicino al secondo, che se questo sia elettrizzato, quello ne tragga la scintilla. Dei due fluidi che compongono il fluido naturale di *cd*, quello dell' elettricismo resinoso resterà in questo corpo, in virtù dell'attrazione che il fluido vitreo di *ab* esercita sopra di esso; l'altro, cioè il fluido dell' elettricismo vitreo, sarà respinto nel corpo *ef*, che lo trasmetterà ai corpi circostanti, sicchè il conduttore *cd* si troverà elettrizzato resinosamente. Se in tal momento si scarica il conduttore *ab*, il seguente *cd* prenderà di nuovo rapidamente il suo fluido vitreo, che gli verrà restituito per mezzo del conduttore *ef*; e se in vece del conduttore *cd* si supponga una persona isolata che presenti le mani a una giusta distanza dai conduttori *eb*, *ef*, la scarica farà nascere fra *ef* e il dito situato dalla medesima parte, una vivissima scintilla, prodotta dal fluido vitreo, nell' entrare di nuovo all' improvviso nel corpo della persona da cui era escita. Fra le varie maniere indicate da Milord Mahon per spiegare il contraccolpo, noi abbiamo scelta questa perchè presenta un caso in cui l' effetto riesce più chiaro e più distinto.

Di qui si comprende che se l' elettricismo del conduttore *ab* fosse fortissimo, accaderebbe pure il contraccolpo, quando ancora in faccia al conduttore non esistesse che il solo corpo *cd* che non fosse isolato, ed è questo il caso che si osserva in natura, quando il contraccolpo deriva da una nube tempestosa.

Sia NG (*fig.* 95) una di queste nubi caricate di moltissimo elettricismo vitreo, e D un viaggiatore situato nella sfera d'attività della me-

(*a*) *Princip. d'Eléctric.*, *Londres*, 1781, p. 69 e seg.

desima nube: il fluido vitreo di questo uomo sarà respinto nel suolo dalla repulsione del fluido contenuto nella nube, sicchè il viaggiatore si troverà sensibilmente in stato di elettricismo resinoso. Che se in questo punto la nube sia indotta da un oggetto terrestre a fare esplosione, il fluido vitreo passerà nuovamente nel corpo del viaggiatore con una rapidità e in un'abbondanza proporzionata all'energia con cui agiva l'elettricismo della nube; e la scossa che ne resulterà, potrà essere tanto forte da uccidere il viaggiatore; e intanto chiunque sia posto in certi punti *f*, *b*, nei quali il viaggiatore sarebbe sembrato più esposto ai pericoli dell'esplosione, non ne riporterà veruna offesa.

Formazione della grandine.

736. La grandine che a prima vista parrebbe doversi considerare come analoga alla neve, differisce da questa principalmente in quanto all'epoca della sua formazione, perchè ordinariamente si forma nelle stagioni calde. Più difficilmente ancora si concepisce questa formazione per altre ragioni che osserveremo in seguito; e frattanto avvertiamo che le spiegazioni che solevano darsi di questo fenomeno, non corrispondono in verun modo all'osservazione delle circostanze che o la producono o l'accompagnano.

Si supponeva in fatti che la grandine provenisse da un'acqua piovana, le gocce della quale si fossero congelate nell'alte regioni dell'atmosfera per effetto d'un raffreddamento, del quale non si indicava la causa: questi globetti di ghiaccio nel cadere incontravano altre gocce d'acqua liquida, le quali congelate esse pure per il contatto di questi globetti, ingrossavano questi o più o meno, distribuendosi intorno ad essi a strati concentrici.

737. Ma in questa ipotesi, come spiegare la grossezza enorme di quei globi di grandine, che si son trovati del peso di 4 decagrammi, o un'oncia, e talvolta ancora molto più? (*a*) Non è possibile che essi giungano a tanta grossezza, percorrendo con velocità accelerate l'intervallo fra la nube e la terra, tanto più che la nube non è il più delle volte a tanta altezza quanta la supponeva chi dava tale spiegazione di questo fenomeno.

Bisognava dunque che i grani di grandine fossero restati sospesi in mezzo all'aria, finchè fossero formati; ma qual potenza poteva sostenerli contro la forza di gravità?

738. Qualunque difficoltà resta sciolta dalla spiegazione ingegnosis-

(*a*) *Journ. de Phys.* an. 1809, t. LXIX, p. 286, 433, e 343.

sima e soddisfacente che il famoso Volta ha data di questo fenomeno (*b*).

Era stato osservato da gran tempo che il fulmine, il quale si sapeva esser prodotto da un rapido ed abbondante sprigionamento di fluido elettrico, era spesso accompagnato dalla formazione della grandine. Dall'unione di questi due effetti, benchè tanto diversi, in un medesimo punto dell'atmosfera, Volta credè di poter concludere che essi dipendessero da una doppia azione dello stesso fluido, il quale non facesse che cambiare azione passando dall'uno all'altro.

739. E già questi due effetti si ritrovavano analoghi in teoria. I fisici avevano immaginato un apparecchio elettrico, che rappresentava in piccolo l'esplosione del fulmine; e Volta riconobbe l'immagine d'un altro fenomeno più terribile ancora, nel resultamento d'un'esperienza egualmente familiare, che aveva servito lungo tempo di semplice divertimento, cioè quella, da noi già altrove citata, di due palline di midollo di zambuco, sbalzate alternativamente fra due dischi metallici; il qual effetto apparirà più distinto ancora, se si suppongano i due dischi elettrizzati in modo contrario.

Ma per dare alla spiegazione proposta dal fisico italiano tutta l'estensione possibile, è necessario partire da principii un poco più remoti.

740. La grandine si forma per un raffreddamento notabile di una nube che si trova in uno spazio di cielo oscuro. Due principalmente sono le cause che producono questo raffreddamento. La superficie della nube colpita dai raggi d'un sole vivissimo, quali li tramanda questo astro nei più caldi giorni dell'anno, soffre un'evaporazione rapida che spoglia la nube di una gran parte di calorico. È stato inoltre provato dalle osservazioni, che l'aria che circonda la nube è molto più asciutta di quella degli strati inferiori, sicchè quell'aria, avida di molecole acquee, unisce la sua azione con quella del sole per produrre l'evaporazione.

741. Per concepir dunque la maniera con cui i grani di grandine si formano e crescono, bisogna supporre un'altra nube sotto quella di cui abbiamo parlato, e a tal distanza che possano esercitarsi liberamente le azioni dalle quali dipende il fenomeno, e che indicheremo fra poco. Deve ammettersi inoltre, in conseguenza delle osservazioni fatte sulle nubi tempestose, che le due nubi indicate di sopra sono elettrizzate una vitreamente e l'altra resinosamente. Le molecole acquee situate sulla superficie della nube superiore, congelate per il raffredda-

(*b*) *Ibid.*

mento da essa sofferto, con l'unione loro compongono alcune particelle di neve, e talvolta di ghiaccio, di cui resta coperta la superficie stessa della nube, e che sono come i noccioli dei grani di grandine che si formerà fra pochi momenti. I quali noccioli che sono a contatto con quella parte della nube superiore che è voltata verso la terra, e che sono a parte dell' elettricismo di questa, son subito respinti verso la nube inferiore, la quale poi li respinge a vicenda dopo averli attratti fino al contatto.

Nulla più di questo fatto è simile all'esperienza citata di sopra, in cui si vedevano due corpi leggieri muoversi alternativamente, in egual maniera e in conseguenza di cause eguali; se non che i grani di grandine, mentre vanno balzando da una nube all'altra, incontrano sul sentiero alcuni globetti di vapori vescicolari sparsi nel medesimo spazio, i quali appena li hanno toccati passano allo stato di congelazione a cui son prossimi, e si uniscono con quelli, formando tanti strati soprapposti, i quali li fanno crescere di volume e di peso, finchè la forza superiore della gravità li precipita verso la terra.

742. All'avvicinarsi della grandine, e molto tempo ancora prima della sua caduta, si sente spesso un certo rumore che sembra partire dal luogo in cui si forma la tempesta, e che è simile a quello che produrrebbero due piccoli corpi duri, i quali agitati con un moto rapido si urtassero fra loro; il qual rumore non può spiegarsi se non col supporlo prodotto dagli urti che resultano dall'incontro scambievole dei grani di grandine, quando sono scagliati da una nube all'altra. Volta sembra tuttora dubbioso nel citar questo fatto, il quale secondo lui ha bisogno d'essere confermato; e nel caso che veramente potesse verificarsi, sarebbe un argomento decisivo in favore della sua teoria. Ma presentemente non possiamo più dubitare della verità della medesima, dopo tante osservazioni che ne hanno provata l'esistenza (*a*).

Lo stesso fisico italiano cita alcune osservazioni le quali tendono a provare, che non dobbiamo maravigliarci della gran forza che le due nubi esercitano sui grani di grandine che pesano qualche volta alcuni decagrammi, poichè, secondo la sua opinione, basta che esista

(*a*) Questo fatto si conosce già da gran tempo. Nella prima enciclopedia intitolata *Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, t. VII, p. 928, alla parola *grêle*, si trova un articolo estesissimo redatto dal sig. de Batte, membro della società reale di Londra, in cui egli dice che quando cade la grandine in un tempo oscuro e tempestoso, e prima ancora della sua caduta, si sente spesso un rumore eccitato nell'aria dall'urto dei grani di grandine, spinti violentemente dal vento uno contro l'altro. In questo racconto importa moltissimo l'osservare, che ancora secondo l'autore, in alcune circostanze questo rumore precede l'apparizione della meteora.

nell'atmosfera una vasta nube tempestosa, che non sia elevata più di 45° sull'orizzonte, perchè un elettrometro situato a una distanza di più leghe da essa, indichi visibilmente la presenza d'elettricismo o vitreo o resinoso. Da questo si può dedurre quanto debba esser forte a contatto l'azione di una tal nube, tanto più se si riflette che essa segue la legge della ragione inversa del quadrato della distanza, e in conseguenza deve crescere con la massima rapidità quando si avvicina al termine in cui la distanza divien nulla.

« Volta risponde a qualunque obiezione potesse venirgli fatta su questo proposito, e le risposte soddisfacenti che egli dà, sono altrettanti motivi di più per autenticare la maniera che abbiamo adottata di spiegare questo fenomeno (57).

3. DELL' ELETTRICISMO PRODOTTO DAL CALORE.

743. Oltre tutti i fenomeni che abbiamo considerati finora, e che appartengono interamente alla fisica, altri pure ne esistono, l'osservazione dei quali appartien pure alla storia naturale. Non parleremo per ora dell'elettricismo prodotto dalla torpedine e da alcuni altri pesci dotati di un organo particolare, nei quali essi hanno la facoltà di eccitare certi moti, da cui resulta un fenomeno simile a quello della boccia di Leida, e ne parleremo più opportunamente nell'articolo in cui osserveremo qual parte abbia il così detto galvanismo sull'economia animale. Qui non si tratta che della virtù elettrica acquistata da certi minerali per mezzo del calore, il quale in tal caso produce l'effetto stesso della confricazione sui corpi isolatori ordinarii. E tanto è più importante questo punto di mineralogia fisica, quanto la distribuzione della materia elettrica in questi minerali, ha la massima analogia con quella della materia magnetica nel ferro in stato di calamita; sicchè in questi

(57) Non parleremo dei *Paragrandine* su cui hanno studiato Lapostolle primieramente, benchè fondato su falso principio, e quindi Tholard, che ha cercato di inspirare in altri quella fiducia in questi apparecchi della quale egli era persuaso oltre i limiti di una probabile teoria. Poichè la grandine suol formarsi per lo più nell'estate, stagione in cui le nuvole sono altissime, attesa l'elasticità dell'aria, sembra impossibile che tali conduttori possano influire sulla tacita dispersione dell'elettricismo: e in tutti i casi, la loro influenza non potrebbe essere che minore di quella delle piante verdi. E se tal'influenza non può aver luogo a tanta distanza, onde impedire che la grandine si formi nell'alte regioni atmosferiche, niun conduttore elettrico potrebbe convertirla in acqua da che essa fosse formata. Il solo *nil tentasse nocebit* può dunque per ora richiamare un pensiero sui paragrandine.

minerali si osserva il vero termine di paragone fra l'elettricismo e il magnetismo.

744 Ciascuno di questi minerali ha due punti, in uno dei quali risiede l'elettricismo vitreo, e nell'altro il resinoso. Chiamiamo *poli elettrici* quei punti che son sempre situati in due parti opposte del minerale. Supporremo che il cristallo che prenderemo per esempio, per spiegare il passaggio dal suo stato ordinario a quello d'elettricismo, sia di quelli che hanno la forma di prisma o di cilindro più o meno allungato, e che appartengono alla tormalina: quindi descriveremo alcune varietà di questo minerale, nella cristallizzazione del quale si vede tutto ciò che può desiderarsi in questo genere, ma ne osserveremo soltanto la forma prismatica che basta per il nostro scopo.

745. Accenneremo pure in seguito le circostanze, in cui la temperatura naturale dell'atmosfera basta sola a far nascere la virtù polare in un cristallo di tormalina. E poichè ci proponiamo qui di descrivere le esperienze ordinarie, nelle quali l'azione del cristallo è massima, supporremo che dopo averlo fissato in un paio di pinzette d'acciaio attaccato a un manico di legno, si esponga al calore di un braciere; e quanto più il calore penetra in esso, tanto più ne scompone il fluido elettrico naturale, e obbliga i due fluidi di cui è formato, a separarsi e a slontanarsi l'uno dall'altro con moti contrarii che accadono nella direzione dell'asse del cristallo, sicchè il fluido vitreo va verso una delle estremità di questo cristallo, e il resinoso verso l'estremità opposta. L'azione continua della stessa causa mette in libertà nuove quantità di ciascun fluido, ma la virtù elettrica che ne resulta ha un limite, al di là del quale comincia a scemare, a mal grado dell'aumento di calore, dimanierachè a un termine più remoto sparisce totalmente. Spesso accade che la tormalina si trova in questo ultimo stato, quando la ritiriamo dalla presenza del fuoco, e bisogna lasciarla tornare da se stessa al limite che aveva oltrepassato, e allora il suo effetto è massimo. Finchè la temperatura della pietra si abbassa gradatamente, i due fluidi cedendo all'attrazione loro scambievole, si riuniscono a poco a poco, e la tormalina finalmente ritorna nel suo stato naturale.

746. La maniera con cui si combinano le azioni dalle quali dipende il passaggio allo stato elettrico è tale, che quando è nuovamente stabilito l'equilibrio fra loro, le densità elettriche scemano rapidamente, cominciando dalle estremità, sicchè esse sono nulle o quasi nulle in uno spazio di una certa estensione, situato verso il mezzo del prisma; e per una conseguenza necessaria, i centri d'azione che sono nei due poli, son situati vicini alle estremità; e presto citeremo un' esperienza che dà una prova di questa distribuzione dei due fluidi.

Digitized by Google

AZIONE DI UNA TORMALINA SOPRA UN CORPO CHE È NELLO STATO NATURALE.

747. Se si presenta per un polo una tormalina riscaldata a uno dei globetti con cui termina l'ago isolato, qualunque dei due fluidi sia in attività su questo polo, tutto accaderà come se sulla pietra influisse unicamente una quantità dello stesso fluido, che avesse un'azione proporzionata alla differenza fra le azioni esercitate dai due poli sull'ago, relativamente a quella che esiste fra le due distanze; dal che si concluderà, secondo i principii esposti (§. 673.), che il globetto deve essere attratto costantemente.

DETERMINAZIONE DEI DUE POLI DI UNA TORMALINA ELETTRIZZATA.

748. Vedremo fra poco che guardando solamente la forma d'una tormalina completa, si riconosce quali ne sono i poli: ma poichè ora supponiamo che il cristallo sia un prisma spezzato alle sue estremità, come è la maggior parte di quelli di cui ci serviamo, non si può in tal caso riconoscere a prima vista a qual'estremità sia il polo vitreo e a quale il polo resinoso; e dalla sola esperienza possiamo acquistare questa cognizione. A tal oggetto ci serviremo dei due apparecchi che chiamiamo *elettroscopio vitreo* ed *elettroscopio resinoso*, dopo averli elettrizzati ambedue. Presentando a questi successivamente un polo della tormalina, se sarà il polo vitreo, respingerà l'elettroscopio dello stesso nome, e attrarrà l'altro, e l'effetto opposto apparirà presentando il polo resinoso Crediamo inutile dar la spiegazione di questo fatto, perchè è evidente per se stesso.

749. Se la tormalina fosse poco elettrizzata per mezzo del calore, lo che potrebbe riconoscersi dalla debole azione che fin da principio eserciterebbe sull'ago isolato, in tal caso per evitare che la repulsione divenisse attrazione, basterebbe prendere in vece degli elettroscopii due aghi isolati, elettrizzati uno vitreamente e l'altro resinosamente.

750. Se si abbia un'altra tormalina simile alla precedente, combinando le loro azioni, si può rendere più importante l'esperienza L'apparecchio di cui ci siamo serviti in questo caso rappresentato dalla *figura* 96, è composto di due pezzi essenziali: uno è una verga d'argento o d'ottone *ab* fissata sopra un disco *cc'*, e terminata in cima con una punta acutissima d'acciaio *ag*: l'altro pezzo consiste principalmente in una lastra rettangolare dello stesso metallo, con due pezzi scavati in alto *o*, *l* posti a squadra sopra le estremità di essa. Questa lastra è forata in

mezzo con un foro circolare, per porre in esso un piccolo cappelletto x di cristallo di monte o d'agata, tenuto fermo da un cerchio metallico per mezzo di due viti s, z: l'ago ag fa le veci d'un pernio che entra in una piccola apertura fatta sopra il cappelletto. Verso le estremità della superficie inferiore della lastra hk, sono attaccati due fili metallici pi, uy, diretti alquanto obliquamente a questa superficie, e terminati con due globi che son destinati a fare scendere il centro di gravità dell'apparecchio intero, in modo che la lastra resti sempre sostenuta finchè dura il suo moto di rotazione.

751. Riscaldate quindi le due tormaline, se ne pone una mn nello scavo hk, e poi si avvicina successivamente alle due estremità di essa un corpo precedentemente elettrizzato per via di confricazione. Se questo corpo è per esempio un pezzo d'ambra o un cannello di cera di Spagna, il polo della tormalina respinto da questo corpo sarà il polo resinoso di essa; e quello che esso attrarrà sarà il vitreo. Si presenti quindi un polo della seconda tormalina successivamente ai due poli di quella che è nell'apparecchio; e se quello respinge il polo vitreo v di questa, e ne attrae il polo resinoso r, si dirà che è il polo vitreo della seconda tormalina, e sarà il polo resinoso se produrrà l'effetto inverso; e quindi si saprà anticipatamente il nome dell'altro polo, che è restato senza azione: e se si metta questo in azione in vece del primo, l'attrazione si cambierà in repulsione, e la repulsione in attrazione, come già doveva prevedersi. Tutti questi resultamenti sono stati dimostrati nell'articolo in cui abbiamo trattato delle attrazioni e repulsioni che esercitano l'uno sull'altro due corpi, ognuno dei quali è mosso soltanto dai fluidi che si sono sprigionati dal suo fluido naturale (§. 682 e *seg.*)

Nelle esperienze di questo genere abbiamo il vantaggio, che riescono bene ancora in un tempo umido, perchè i due fluidi dopo essersi separati restano imprigionati nei corpi nei quali sono difesi da ogni azione esterna.

752. Se si pone la seconda tormalina in una situazione fissa, elevata sopra quella della tormalina dell'apparecchio, in modo che i due assi sieno paralleli e distanti alcuni millimetri l'uno dall'altro, e se nel tempo stesso ciascun polo dell'una è opposto al polo di diverso nome dell'altra, ognuna delle due pietre resterà nella sua situazione: ma se i poli corrispondenti sono dello stesso nome, la tormalina dell'apparecchio comincerà a girare, finchè non abbia fatto una mezza rivoluzione intorno al suo centro, e dopo alcune oscillazioni resterà fissa sotto l'altra, in virtù dell'attrazione reciproca dei poli di nome diverso.

Si può ancora variare l'esperienza, tenendo fissa la tormalina dell'apparecchio, e sospendendo l'altra a un filo di seta, nel qual caso

questa girerà finchè i suoi poli sieno sopra i poli di diverso nome dell' altra. Accaderebbe pure lo stesso, se la tormalina sospesa al filo fosse più corta dell' altra, purchè questa avesse tanta forza da esercitare il suo potere dalla distanza che resulterebbe dalla diversità di lunghezza.

753. Se la seconda tormalina che nuovamente supporremo fissa, sia situata da una parte o dall' altra di quella dell' apparecchio, e nella medesima dirittura, non produrrà sull' altra verun moto, se i poli vicini sono di diverso nome; ma se sono di egual nome, la tormalina dell' apparecchio farà una mezza rivoluzione intorno al suo centro, per mettersi, relativamente all' altra, nella situazione richiesta dall' attrazione elettrica.

Attrazioni e repulsioni che lo stesso lato della pietra esercita sopra corpi leggieri.

754. Se si presenta un polo della tormalina ad alcuni corpi leggieri, come cenere o segatura di legno, ogni grano di queste polveri si porterà verso la tormalina, poichè diviene elettrico, e la parte di esso che è voltata verso il polo che esercita sopra lui la sua azione, ha acquistato un elettricismo contrario a quello di questo polo. Quando sia giunto a contatto con essa, resterà ivi applicato, perchè il fluido della tormalina, la quale è un corpo non conduttore, non potendo comunicarsi ad esso, tutto resta nello stato di prima. Frattanto accade spesso che alcuni di questi grani sono respinti appena hanno toccato la pietra: il qual effetto si osserva quando il piccolo corpo ha incontrato qualche molecola di ferro o di qualche altra materia conduttrice, situata sulla superficie della tormalina. In tal caso, se si suppone che questa molecola sia elettrica, per esempio, resinosamente, una porzione del suo fluido passerà sulla parte contigua del piccolo corpo che è occupata dal fluido vitreo, e si unirà con questo fluido, neutralizzandolo. Allora trovandosi in eccesso il fluido resinoso che circondava l'altra parte del piccolo corpo, questo corpo sarà tutto in stato resinoso, e quindi sarà respinto dalla molecola conduttrice che è in uno stato simile. Di qui si vede come debba intendersi ciò che è stato detto da alcuni autori, che la tormalina attraeva e respingeva indifferentemente con tutte e due le sue estremità, senza produrre quegli effetti costanti di attrazione da una parte e di repulsione dall' altra, che le erano stati attribuiti. Questi ultimi effetti non accadono se non con una tormalina situata in faccia ad un corpo che è già in un certo stato di elettricismo: gli altri effetti che son variabili, si riferiscono ai casi in cui i corpi, sui quali la tor-

malina esercitava la sua azione, erano primitivamente nello stato loro naturale.

Esperienza relativa alla distribuzione dei due fluidi in una tormalina elettrizzata per mezzo di calore.

755. L'esperienza con cui ci assicuriamo che i centri d'azione della tormalina son vicini alle estremità, e che la parte di mezzo è quasi in stato naturale, non è che una maniera di ripetere la precedente, variando le particolari situazioni dei due corpi. Sia $m'n'$ (*fig.* 97) la tormalina che si tiene fra le pinzette, e $m\,n$ quella dell'apparecchio: sia inoltre v' il centro d'azione vitrea della prima, e v quello della seconda: potrebbero egualmente considerarsi gli altri due centri r', r. Si diriga ora la tormalina $m'\,n'$ verticalmente a tal distanza dall'altra, che appena si possano scorgere le loro azioni reciproche, e in modo che sieno poste come lo indica la *fig.* 97, la quale rappresenta la lor proiezione verticale; dove si vede che esse si sorpassano scambievolmente di una piccola quantità, che si considera eguale alla distanza fra i centri d'azione e le estremità, e che in varie tormaline che abbiamo sottoposte all'esperienza, lunghe circa 40 millimetri o 13 $\frac{1}{2}$ linee, era $\frac{1}{16}$ incirca di questa lunghezza. Ciò premesso, si porti adagio adagio la tormalina $m'n'$ (*fig.* 98) verso quella dell'apparecchio, conservandola sempre nella stessa situazione, finchè il polo v faccia un piccolo moto all'indietro, per effetto della repulsione scambievole dei due poli (*a*); e allora si rivolga a poco a poco la tormalina $m'n'$ verso la situazione orizzontale. Appena questa sarà uscita dalla sua prima funzione, si vedrà la tormalina $m\,n$ restare immobile, finchè il centro v corrisponderà a qualche punto della parte di mezzo della tormalina $m'n'$. Ma quando sia giunta al termine in cui il centro r' si trovi in faccia al centro v, l'estremità n vicina a questo ultimo centro si metterà in moto, per avvicinarsi alla tormalina $m'\,n'$, in virtù dell'attrazione scambievole dei due centri. È facile il vedere, che l'andamento del fenomeno è concorde con la distribuzione dei due fluidi in ambedue le tormaline, come abbiamo indicato di sopra.

FENOMENO CHE SI OSSERVA IN UNA TORMALINA SPEZZATA.

756. Se si spezza una tormalina nel momento in cui palesa il suo elettricismo, ciascun frammento per piccolo che sia, ha le sue due metà

(*a*) Bisogna guardare che questo polo non sia trasportato dal moto di rotazione, lo che sarebbe contro lo scopo dell'esperienza.

in uno stato opposto, come la tormalina intera; e ciò sembra per verità singolare, poichè questo frammento, quando per esempio era situato a un'estremità della pietra tuttora intatta, non possedeva che una sola specie d'elettricismo. Questa difficoltà si scioglie facilmente per mezzo d'un'ipotesi probabilissima, simile a quella che fece Coulomb relativamente ai corpi magnetici, nei quali si osserva la stessa singolarità, cioè considerando ciascuna molecola integrante d'una tormalina, come se fosse essa pure una piccola tormalina coi suoi due poli. Ne segue dunque che nella tormalina intera esiste una serie di poli alternativamente vitrei e resinosi; e le quantità di fluido libero che appartengono a questi poli son tali, che in tutta la metà della tormalina tuttora intatta, che mostra elettricismo vitreo, i poli vitrei delle molecole integranti sono superiori in forza ai poli resinosi che sono a contatto con loro, mentre accade il contrario nella metà che mostra elettricismo resinoso: quindi è che la tormalina è nel caso stesso, come se ciascuna delle sue metà fosse investita soltanto da quantità di fluido vitreo o resinoso eguali alle differenze fra i fluidi dei poli vicini. Ora se si spezza la pietra in un punto qualunque, poichè la sezione non può essere che fra due molecole, la parte staccata comincerà necessariamente da un polo di una specie e finirà con un polo della specie contraria. Daremo un'estensione maggiore a questa spiegazione quando parleremo del magnetismo.

Ritorno dell'azione polare, in modo inverso, per causa dell'abbassamento di temperatura.

757. Abbiamo indicato i fenomeni elettrici che si osservano nei cristalli di varie sostanze, e particolarmente in quelli della tormalina, fenomeni che appariscono in conseguenza dell'elevazione di temperatura delle sostanze medesime, ottenuta con esporle all'azione del fuoco: ma la facoltà polare che possono acquistare e manifestare questi corpi, non si limita al termine che sembra indicato dall'esperienza, quando esse si lasciano raffreddare; e nell'abbassamento della temperatura di quelle esiste un altro termine in cui la stessa facoltà comparisce nuovamente, ma con caratteri tali che la distinguono dalla prima. Ci sia permesso di raccontare in qual maniera la circostanza di un freddo rigoroso, in cui pareva che questa virtù avesse dovuto perdere interamente le tracce della sua origine, ha fissato la nostra attenzione sul suo rinnovamento, il quale nessuno aveva fin allora osservato.

Le osservazioni suggerite in questa circostanza, sono state fatte sopra alcuni cristalli di zinco ossidato di Limbourg, nelle vicinanze di Aix-la-Chapelle, e sopra alcuni pezzi della varietà aciculare dello stesso

minerale che si trova nel Brisgaw. Avevamo già annunziato che questo minerale non aveva bisogno d'esser riscaldato, per dare indizio di potere elettrico, e avevamo pure osservato che lo manifestava ancora a un freddo di 6° R sotto lo zero; ma nell'occasione del rigido freddo del 1819 riprendemmo le nostre esperienze. Nel 14 gennaio avendo posto un pezzetto di questo minerale sopra una finestra, dove era pure un termometro che indicava 11° sotto lo zero, e avendolo ivi lasciato per qualche momento, osservammo che aveva tuttora un'azione visibile sull'ago non isolato. Determinammo dunque i suoi poli, avendolo portato in una stanza in cui il termometro indicava 4° sotto lo zero, proseguimmo a sottoporlo all'esperienza, e vedemmo che la sua azione polare si indebboliva progressivamente, e in fine cessava affatto. L'accostammo a poco a poco a un cammino, dove era il fuoco acceso, finchè non ne fosse lontano che un metro o tre piedi in circa; e quasi subito si rinnovarono le azioni dei suoi poli, ma in un modo inverso a quello che si era osservato nell'esperienza precedente.

Non dubitammo che questo resultamento non fosse per verificarsi sopra cristalli di specie diversa, e specialmente su quelli che appartengono alla tormalina. Prenderemo questi per esempii, e riuniremo sotto un sol punto di vista tutto ciò, che in essi si osserva, nell'intervallo compreso fra i due limiti di temperatura, oltre i quali sparisce senza ritorno l'azione elettrica. Chiameremo *elettricismo ordinario* quello che è prodotto dal calore, ed *elettricismo straordinario* quello che nasce naturalmente nell'abbassarsi della temperatura medesima.

758. Cominceremo dal termine in cui l'eccesso di calore acquistato dalla tormalina nel restare esposta all'azione del fuoco, ha fatto sparire gli effetti dell'elettricismo ordinario. Se dopo averla ritirata dal fuoco si abbandoni a se stessa, l'abbassamento della sua temperatura ravviverà di nuovo le azioni dei suoi poli, quali le abbiamo descritte, le quali deboli in principio, cresceranno in energia fino ad un certo termine, al di là del quale si indeboliranno di nuovo gradatamente e in fine spariranno totalmente. Ma un poco al di là di questo ultimo termine cominceranno ad apparire i primi segni dell'elettricismo straordinario, cioè la tormalina prenderà nuovamente i suoi poli, con la differenza però che le situazioni di essi saranno rovesciate, sicchè quello in cui esisteva l'elettricismo vitreo, passerà allo stato di elettricismo resinoso, e reciprocamente: le loro azioni saranno in principio crescenti come nel primo caso, e quindi scemeranno fino a divenir nulle; se non che non saranno tanto forti come quelle dell'elettricismo ordinario, e saranno di molto minore durata. L'ago isolato, elettrizzato o vitreamente o resinosamente, è adattatissimo per le esperienze relative a questo caso, poichè il suo elet-

tricismo essendo quasi in equilibrio con quello dei due poli, niente si oppone alla sua tendenza per esercitare la sua azione di attrazione sull'uno e di repulsione sull'altro.

Accade talora che quando è per apparire l'elettricismo ordinario, i due poli sono nel tempo stesso vitrei e resinosi, perchè uno è ritardato nel suo passaggio allo stato opposto, ma infine poi sempre vi giunge.

759. Abbiamo osservato che il grado a cui corrisponde il punto neutro, il quale fa la separazione dei due elettricismi, variava secondo le stagioni, sicchè si elevava o si abbassava secondo che cresceva o scemava il calore dell'atmosfera; ma nel caso ancora della sua massima elevazione, l'abbiamo trovato sempre molto al di sotto di quello che si deduce dall'indicazione di Epino, secondo il quale la tormalina non diverrebbe elettrica se non a una temperatura fra i 30° e gli 80° R.

In alcune circostanze in cui il termometro era circa 10° sopra lo zero, le tormaline che abbiamo prese dalla nostra collezione per sottoporle all'azione del calore, erano già in stato elettrico, sicchè quando le accostavamo all'ago non isolato, esse lo attraevano, e quando in seguito presentavamo le due estremità di quelle all'ago isolato e elettrizzato o vitreamente o resinosamente, esercitavano sopra di esso una virtù polare, che era ordinariamente quella dell'elettricismo straordinario, e bastava quindi esporre per pochi momenti la pietra all'azione del fuoco, per farla passare allo stato di elettricismo ordinario: e in certi casi abbiam veduto rinnovarsi rapidamente la successione dei due effetti, secondo che tenevamo la pietra per un minuto o due a 2 metri circa ossia 6 piedi di distanza dal braciere, prima di presentarla all'elettrometro, e in seguito non facevamo, per così dire, che presentarla al fuoco per provarla di nuovo.

760. In tutte le tormaline che abbiamo sottoposte all'esperienza, il grado a cui è sparito l'elettricismo straordinario, si è trovato il più delle volte sopra lo zero del termometro. Lo zinco presenta sotto questo rapporto un caso particolare, poichè abbiamo veduto che esso dava segni distinti di questa specie d'elettricismo a una temperatura di 11° sotto lo zero R. Non possiamo sapere cosa sarebbe accaduto nel caso in cui la temperatura avesse proseguito ad abbassarsi, e se, come è probabile, la virtù elettrica, dopo essersi indebolita gradatamente, si fosse estinta a un certo termine che avrebbe dato lo zero assoluto di questa virtù. Ci troviamo qui in un caso simile a quello in cui eravamo relativamente al mercurio, prima che si conoscesse il grado di freddo a cui corrisponde la sua congelazione.

761. Si può osservare la successione rapida dei due elettricismi nello stesso minerale, per mezzo d'un'esperienza nel tempo stesso più sem-

plice e più curiosa, senza servirsi dell'azione del fuoco. Essendo il cristallo in stato di elettricismo straordinario, si preme per un momento fra le dita per riscaldarlo alquanto; e si vede subito comparire di nuovo l'azione polare ma in modo inverso: quindi si lascia per qualche momento sopra una tavola di marmo, e torna da per se al punto neutro, e da quello passa nuovamente allo stato d'elettricismo straordinario. Premeodolo di nuovo fra le dita, ritorna allo stato opposto, e così di seg uito.

Correlazione fra la Forma dei Corpi elettrici per Calore, e le situazioni dei Poli di essi.

762. I corpi capaci d'elettrizzarsi per calore, presentano in quanto alla forma una nuova singolarità, la quale sembra indicare uoa dipendenza scambievole fra la cristallizzazione e le proprietà elettriche di essi. Si sa che in generale la maniera con cui la natura forma i cristalli, è soggetta alla legge della maggior simmetria, in quanto che le parti opposte e corrispondenti son simili per il numero, per la disposizione e per la figura delle facce. Ma le forme dei cristalli elettrici per calore sono un'eccezione a questa simmetria, sicchè le parti nelle quali riseggono le due specie d'elettricismo, quantunque similmente situate alle due estremità del cristallo, son diverse in quanto alla loro configurazione; l'una soffre una diminuzione che poi divien nulla sulla parte opposta, o a cui corrisponde un'altra diminuzione che dipende da un'altra legge; lo che può servire a far prevedere, guardando solamente il cristallo, da qual parte si troverà ciascuna specie d'elettricismo, quando si sottoporrà questo cristallo all'esperienza. Parrebbe che l'affinità unendo le molecole di questi corpi, si fosse unita col potere elettrico per rappresentare le forze contrarie dei due fluidi, per mezzo della differenza delle leggi di struttura relative ai due vertici.

763. Così nella varietà di tormalina che chiamiamo *isogona*, rappresentata dalla *figura* 99, la forma è quella di un prisma di nove lati, terminato da una parte da un vertice di sei facce, tre delle quali, cioè P, P, P, appartengono alla forma primitiva che è un romboide, e dalla parte opposta è terminato da un vertice di tre facce che sono le analoghe delle facce P. È provato dall'esperienza che in questo ultimo vertice risiede l'elettricismo resinoso, e il primo manifesta l'elettricismo vitreo. Fra le altre varietà della medesima sostanza da noi determiuate, ve n'è una alla quale diamo il nome di tormalina *nonodecimale* e che merita di esser citata a preferenza delle altre. La *figura* 100 servirà a darne un' idea. Si vede che le tre facce P, P, P della precedente sono qui cir-

condate da sei faccette *t*, *t*, *t* ec. disposte in forma di anello. Il prisma è terminato egualmente da nove facce; ma il vertice inferiore non presenta che una sola faccia *k*, perpendicolare all'asse, dal che si rileva, per mezzo di un contrasto molto visibile, la differenza di configurazione fra le parti opposte.

764. Ma fra tutti i cristalli che presentano questa correlazione fra la configurazione esterna ed il potere elettrico, i più notabili son quelli che appartengono ad una sostanza acidifera, chiamata *magnesia boratea*, che in generale ha la forma di un cubo imperfetto in tutti i suoi canti, e modificato ancora da alcune faccette che corrispondono agli angoli solidi. Qui i due elettricismi esercitano le proprie azioni secondo le direzioni di quattro assi, ognuno dei quali passa per due angoli solidi opposti del cubo, che è la forma primitiva In una delle varietà che chiamiamo *defettiva* (*fig.* 101), uno dei due angoli solidi situati alle estremità di un medesimo asse, è intatto, e in vece dell'altro vi è una faccetta *s*. L'angolo che non ha sofferta alcuna alterazione è in stato di elettricismo resinoso, e la faccetta *s* che è invece dell'angolo opposto, è in stato di elettricismo vitreo, lo che forma otto poli elettrici, cioè quattro per ogni specie di elettricismo. In un'altra varietà (*fig.* 102), gli angoli solidi analoghi a quelli della precedente, invece dei quali era la faccetta *s*, prosegnono a mostrare la stessa modificazione; e invece di ognuno degli altri angoli situati come quelli che erano intatti, vi è una simile faccetta *s'*; ma se ella esistesse sola, si troverebbe di nuovo stabilita la simmetria, mentre dall'altra parte il fenomeno richiede che essa sia alterata. Quindi si osservano tre altre faccette *r*, *r*, *r* situate intorno a ciascuna delle prime, dimanierachè gli angoli che esse modificano, presentano sotto questo rapporto una specie di soprabbondanza, per cui è stato dato a questa varietà il nome di *magnesia boratea soprabbondante*. Si potrebbe domandare, se in mezzo all'imponente apparecchio delle nostre macchine artificiali, e a quella varietà di fenomeni che esse presentano all'occhio maravigliato, vi sia nulla di più opportuno per eccitare l'impegno dei Fisici, quanto questi piccoli strumenti elettrici eseguiti dalla cristallizzazione, o quanto questa riunione di azioni distinte e contrarie, contenute in un cristallo, il quale può non avere neppure due millimetri di grossezza; e qui si presenta al pensiero l'osservazione già fatta tante volte, che le produzioni della natura, le quali sembrano volersi nascondere al nostro sguardo, son quelle che qualche volta hanno più oggetti da farci vedere.

Digitized by Google

4. DELL' ELETTRICISMO GALVANICO.

765. L'elettricismo arricchito dalle fatiche di tanti Fisici famosi, sembrava che fosse giunto al termine, in cui una scienza sembra non poter progredire notabilmente, e non lascia a quelli che la coltiveranno in seguito se non la speranza di confermare le scoperte dei loro predecessori, e di spargere una luce maggiore sulle verità già trovate. Pareva che fossero esauriti tutti i mezzi d' indagine per variare i resultamenti dell'esperienza, e che non potesse in verun modo accrescersi la teoria stessa, se non con l'aggiungere un nuovo grado di esattezza all'applicazione dei già conosciuti principii. Mentre pareva che la scienza in tal modo tendesse verso il suo riposo, i fenomeni dei moti convulsi, osservati dal Galvani nei muscoli di una rana, messi in comunicazione con qualche metallo, si presentarono all'attenzione e alla maraviglia dei Fisici con tali caratteri, da rendere il meccanismo che li produceva il soggetto di importantissime osservazioni. Ma fin da principio, a chi tentò di dare una spiegazione dei medesimi, la prima idea che si presentò al pensiero fu l'elettricismo; e tutti gli spiriti allora diressero le loro osservazioni verso questo nuovo ramo di Fisica. Quindi furon variate o piuttosto accumulate le esperienze; e i fenomeni che sul principio non riguardavano che l'economia animale, divennero ben presto soggetto di chimiche osservazioni, e il modo con cui essi producevano la scomposizione dell'acqua, fece dubitare alcuni Fisici che il vero agente in questo caso fosse il fluido elettrico.

766. In mezzo alle incertezze e alle discussioni, Volta che si trovava nel seno di quella medesima Italia che era stata la cuna delle nuove cognizioni di questo genere, scoprì il principio della vera teoria di quei fenomeni in un fatto, che tutti li spiega per mezzo del semplice contatto di due sostanze di diversa natura. Questo fatto è stato per lui l'origine di quel maraviglioso apparecchio, che per la sua maniera di essere e per la sua fecondità, è uno dei principali di cui il talento dell'uomo abbia arricchita la Fisica.

Esporremo primieramente i fenomeni che hanno prodotto l'elettricismo chiamato *Galvanico*, quindi mostreremo la teoria per mezzo della quale Volta è giunto a spiegarli; passeremo in seguito ad altri fenomeni, i quali riguardano come i primi l'economia animale, ma che son prodotti dai moti spontanei di certi pesci, il più noto dei quali è la torpedine; e finalmente considereremo l'elettricismo galvanico sotto i suoi rapporti chimici nell'operazione della scomposizione dell'acqua.

Origine dell' Elettricismo galvanico.

767. Le prime idee di questa specie di elettricismo si trovano nel racconto che pubblicò Sulzer nel 1767 dell' esperienza seguente, la quale in oggi è nota ad ognuno. Si prendono due pezzi di due metalli diversi, come piombo e argento, e se ne pone uno sopra e l'altro sotto la lingua, in modo che con le estremità loro sopravanzino l estremità di questo organo; e inclinandoli per queste estremità finchè si tocchino, nel momento del contatto si prova un sapore, che Sulzer paragona a quello che viene eccitato dal solfato di ferro: quindi egli conclude, che l'unione di due metalli opera o in uno o in ambedue una vibrazione delle loro particelle, che deve necessariamente produrre un' impressione sui nervi della lingua, e produrre in conseguenza quella sensazione di sapore; e spesso ancora accade che nel fare questa esperienza, vediamo una specie di lampo che sembra passarci davanti agli occhi.

768. Questo fenomeno, quantunque sia nel numero di quelli che appartengono al nuovo ramo di elettricismo, pure non ebbe in principio veruna conseguenza; e solamente nel 1789 un altro fatto nato a caso, mosse gli spiriti verso una strada nella quale si dovevano poi trovare tanti importantissimi resultamenti. In Bologna uno scolare di Medicina era occupato nel far la sezione di un topo vivo, che teneva con una mano in una situazione fissa; quando avendo toccato col coltello uno dei nervi, provò nel momento una scossa simile a quella che vien prodotta dall' elettricismo (*a*). Questo fatto che ben presto fu noto a tutti in Italia, dette luogo a varie congetture sulla natura della causa da cui poteva dipendere, causa che molti Fisici riponevano nel fluido nerveo, che riguardavano come eguale al fluido elettrico.

769. Poco tempo dopo, Galvani, Professore di Anatomia nella stessa Città, osservò un altro fenomeno in un modo egualmente inaspettato. Erano state poste alcune ranocchie scorticate, destinate a far brodo, sopra una tavola su cui era una macchina elettrica: uno scolare accostando la punta di un coltello ai nervi crurali di uno di questi animali, i muscoli della ranocchia provarono nel momento una forte convulsione; e a un altro scolare parve che ciò fosse accaduto nel momento in cui si traeva una scintilla dal conduttore della macchina. Galvani che allora si occupava in tutt'altro, essendo stato avvisato dell' accaduto, ripetè l'esperienza, ora combinando la scintilla elettrica con l'applicazione della

(*a*) *Essai sur l'Histoire générale des Scienc., pendant la Révolution Française, par* J. B. Biot, pag. 19.

punta del coltello sopra i nervi della rana, ora provando separatamente o l'azione della macchina o quella del coltello, e vide che in questo ultimo caso non accadeva veruna contrazione, ma che la sola scintilla bastava per produrla (*a*). Facilmente si comprende che le ranocchie trovandosi nella sfera di attività della macchina, e non essendo isolate, dovevano acquistare l'elettricismo resinoso finchè la macchina era in azione; e se si traeva una scintilla dal conduttore, il fluido vitreo nell'entrare di nuovo nel corpo della rana, doveva produrre un effetto simile a quello conosciuto sotto il nome di *contraccolpo* (§ 735.)

Galvani variò l'esperienza in molte maniere, ora servendosi dell'elettroforo e di varii altri apparecchi, ora provando l'azione prodotta dall'elettricismo del fulmine, e sempre ottenne effetti analoghi, quando i mezzi di cui si serviva erano capaci di mettere in azione una certa quantità di fluido elettrico

770. Finquì il Fisico di Bologna aveva invano cercato qualche cosa di nuovo in questi fenomeni, nei quali non sapeva vedere se non effetti dell'elettricismo ordinario; e con tutti i suoi tentativi non aveva fatto altro che manifestare la massima sensibilità degli animali a sangue freddo, relativamente all'azione elettrica; dimanierachè se questo fatto era di qualche importanza, ciò non riguardava se non la Fisiologia. Un giorno tenendo una rana sospesa per la midolla spinale ad un uncino di rame, gli venne in pensiero di attaccarla per questo uncino a un'inferrata di finestra, e ripetendo questa operazione, vide più volte contrarsi i muscoli della rana; e poco mancò che questa indicazione non lo portasse nell'errore di riguardare per causa del fenomeno l'elettricismo dell'atmosfera (*b*). Ma avendo trasportato la rana in una stanza dove le finestre eran tutte chiuse, la posò sopra una lastra di ferro, e mentre premeva contro questa lastra l'uncino a cui era attaccata la rana, vide rinnovarsi le contrazioni. Facendo una serie di esperienze del medesimo genere, egli si indusse ad allontanare tutto ciò che poteva essere estraneo al fenomeno, e a circoscrivere l'apparecchio nei suoi veri limiti, riducendo il tutto ad una comunicazione stabilita fra i muscoli e i nervi di una rana per mezzo di un arco metallico.

771. Galvani avea osservato che quando questo arco era formato di un solo metallo, o non accadevano contrazioni, oppure leggerissime, e che per renderle forti e durevoli, era necessario un arco di due me-

(*a*) *Aloysii Galvani, de Virib. electric. in motu musculari. Commentar.* pag. 2.

(*b*) *Ibid.* p. 17.

talli diversi (*a*). Fece pure un' altra osservazione non meno importante, cioè vide che per eccitare contrazioni nella rana, non era indispensabile l' intervento dell' azione di un corpo estraneo, poichè quando le rane son fresche, ed hanno una irritabilità molto energica, basta mettere i muscoli crurali a contatto con i nervi lombari, per ottenere sensibili effetti (*b*). Aldini, nipote di Galvani ed uno dei suoi collaboratori, ha verificato questo fatto sopra grandi animali e sopra uomini morti da poco tempo.

772. Osserviamo ora più particolarmente i resultamenti ottenuti dal Galvani, e a questi uniamo ancora quelli ottenuti da altri Fisici che hanno studiato su queste esperienze, avendo per scopo lo stabilire, per mezzo di un conduttore composto ordinariamente di varii metalli, una comunicazione fra due punti dell' animale, presi sopra un sistema di organi nervosi o muscolari. La parte di questi organi situata fra i punti di contatto si chiama *arco animale*, e si chiamano *arco eccitatore* le sostanze metalliche per mezzo delle quali si mettono in comunicazione questi punti.

773. Gli organi che ordinariamente si preferiscono per queste esperienze, sono i nervi crurali e i muscoli della stessa parte, nei quali si distribuiscono i nervi. Per esempio, dopo avere scoperto un nervo crurale, se si pone una foglia di piombo sotto questo nervo, e una foglia d' argento sotto la coscia situata dalla stessa parte, e quindi si stabilisce la comunicazione fra il piombo e l argento per mezzo di un eccitatore di rame, i muscoli crurali proveranno nel momento del contatto una forte contrazione, la quale apparirà con un moto convulso della coscia e della gamba.

774. Se si pone uno dei sostegni all' estremità del nervo e l' altro sulla metà del nervo stesso, il doppio contatto dell' arco eccitatore produrrà egualmente contrazioni nella coscia e nella gamba vicina.

775. Se si lascia la rana rivestita della sua pelle, e dopo averla posata si pone una foglia di piombo sul ventre ed una di argento sul bacino, appariranno egualmente i moti convulsi per mezzo del doppio contatto dell' arco eccitatore, ma saranno molto più deboli.

776. Si può togliere uno dei sostegni, per esempio quello del nervo, e mettere soltanto a contatto questo nervo stesso nudo, con una delle estremità dell' arco eccitatore, toccando con l' altra estremità la foglia d' argento posta sotto il muscolo, e le convulsioni di questo accaderanno come nel caso di due sostegni.

(*a*) *Aloysii Galvani ec. Comment.* p. 20.
(*b*) *Histoire du Galvanisme*, par Sue, T. I. p. 138.

Digitized by Google

777. Finalmente si produrranno ancora le convulsioni, ponendo i nervi ed i muscoli sopra sostegni composti di un metallo stesso, avvicinando poi questi fra loro fino al contatto; ma in tal caso le scosse sono meno sensibili, e non si ottengono in tutti i tempi, e divengono insensibili se le rane sono deboli o sono state lungamente sotto l'esperienza. Le particolarità relative a una bella serie di esperienze di questo genere, eseguite con tutta l'intelligenza e con tutta l'esattezza, si trovano in un rapporto fatto dal famoso Hallé alla Società delle scienze Matematiche e Fisiche dell'Istituto Nazionale, a nome della commissione nominata per esaminare e verificare i fenomeni del galvanismo.

A quell'epoca non era nota ancora la teoria del Volta su questo argomento, e quindi sarà utile il sottoporre di nuovo ad esame molte circostanze particolari che si presentarono ad Hallé e ad altri Fisici, nel corso delle esperienze intraprese sulle rane, e che dovettero eccitare una certa maraviglia, dissipata poi dai resultamenti ottenuti dal celebre Fisico di Pavia.

778. Abbiamo già detto che per essere più sicuri dell'esito delle esperienze, era necessario comporre l'arco metallico di molti metalli diversi: così nella prima esperienza che abbiamo citata, l'arco metallico era formato di una lastra di piombo, di un pezzo di argento e di un conduttore di rame. Poteva pure comporsi questo arco metallico di due pezzi soltanto, purchè fossero di una natura almeno in parte diversa; e in tal caso certe semplici variazioni che si sarebbero potute riguardare come poco importanti, sono tali che sembrano formare la legge dei resultamenti.

Vailli che potrebbe considerarsi come il successore di Galvani, relativamente alle ricerche su questo nuovo ramo d'elettricismo, aveva osservato, che quando i due pezzi di cui si armavano gli organi della rana eran composti di piombo da vetrate, un arco eccitatore dello stesso piombo non produceva verun effetto; ma se invece si metteva piombo puro a una delle armatnre soltanto, e di piombo da finestre si lasciava l'eccitatore all'altra armatura, comparivano di nuovo le convulsioni. Hallé per stabilire una differenza fra due metalli che pure erano eguali, non faceva che fregarne uno con un altro: in tal modo poneva sotto il nervo una lastra d'argento intatto, e sotto il muscolo un'altra lastra parimente d'argento, fregata prima col rame in modo che la parte confricata fosse a contatto con l'organo, e bastava unire le due lastre per ottenere un effetto sensibile. In una nuova esperienza combinò una lastra di argento puro con un'altra, in cui lo stesso metallo era legato con un decimo soltanto di un metallo diverso, e ciò bastava per produrre le convulsioni: con un'armatura di argento e l'altra di

piombo, resultò l'effetto per mezzo d'un eccitatore di piombo; ma non si ottenne verun effetto con due armature d'argento e un eccitatore di rame. Da tutto questo resulta, che la minima differenza fra i metalli che componevano l'arco eccitatore, faceva sì che questo arco aveva un potere assoluto sulla produzione dei fenomeni; ma non dovevano mai usarsi sostegni perfettamente eguali, quando pure l'eccitatore fosse di metallo diverso; e vedremo fra poco che questi effetti, i quali sembravano tanto difficili a comprendersi, dipendevano tanto direttamente dal vero principio della teoria, che sarebbe difficile scegliere esperienze più adattate a verificarlo, o a farne importanti applicazioni.

Prime teorie relative all' elettricismo galvanico.

779 Diamo ora un'idea del modo con cui da prima fu riguardata la causa di questi fenomeni. Secondo Galvani dipendevano da ciò che egli chiamava *fluido nerveo elettrico*, e credeva che le convulsioni provate dalla rana, simili alla scossa che produce la boccia di Leida, accadessero per effetto di un ristabilimento d'equilibrio fra due elettricismi opposti, uno positivo e l'altro negativo: e poichè avea qualche volta osservato, che un arco composto di un solo metallo produceva le convulsioni della rana, non sapeva immaginare che questo unico metallo potesse essere la sede dei due elettricismi, e quindi non gli restava che riguardarlo come esistente nell'animale medesimo (*a*).

Si trattava quindi di sapere se uno di questi elettricismi esisteva nel muscolo e l'altro nel nervo, oppure se esistevano insieme in ognuno dei due organi Galvani dopo aver tentato inutilmente di sciogliere la questione per mezzo d'esperienze decisive, adottò l'ipotesi che gli sembrò più verisimile, secondo la quale il muscolo era la sede dei due elettricismi; la sua parte interna era in stato positivo, e la superficie esterna in stato negativo, cioè era questa come una piccola boccia di Leida pronta sempre a scaricarsi. I nervi che comunicano con i muscoli facevano le veci di conduttori, l'elettricismo positivo passava dall'interno del muscolo, primieramente nel nervo, e quindi nell'arco eccitatore, che lo trasmetteva alla superficie esterna del muscolo; e questa scarica, analoga a quella che si osserva nell'esperienza di Leida, produceva la scossa (*b*) (58).

(*a*) *De viribus Electricit. in motu musculari*, Comment. p. 21 e 22.

(*b*) *Ibid.* p. 40 e seg.

(58) Crediamo inutile di ripeter qui ciò che abbiamo detto relativamente all' elettricismo ordinario, giacchè non potremmo ripeterlo che nella stessa maniera e con le stesse espressioni. Ammettendo nella macchina umana l'esisten-

780. Vailli ancora ammetteva il concorso di due elettricismi nel fenomeno delle contrazioni muscolari, se non che riguardava l'interno dei muscoli come elettrizzato negativamente, e l'esterno positivamente (*a*).

781. Volta si mostrò in principio di questa medesima opinione, cioè credè che un doppio elettricismo fosse inerente all'animale; ma era però di differente opinione relativamente al modo con cui questo fluido esercitava in esso la sua azione. Prese egli una boccia di Leida debolmente caricata, e mise la pallina di essa a contatto con i nervi di una rana, facendone comunicare i muscoli con l'armatura esterna, e gli parve di scorgere, che in questo caso la rana riceveva qualche impressione, mentre essa appariva insensibile se si presentava ai due organi la boccia in modo contrario; quindi concluse che i nervi erano la sede dell'elettricismo negativo, e i muscoli del positivo (*b*). Saputa da Galvani questa spiegazione, egli ne fu persuaso, se non che gli parve che lasciasse ancora qualche dubbio da rischiararsi (*c*): ma la scienza riserbava al Volta una vittoria più degna di lui.

782. Pfaff, dotto professore a Kiel, è uno di quelli che più vittoriosamente siasi opposto alla teoria di Galvani: provò che grandissima differenza passava fra gli organi della ranocchia e la boccia di Leida; e fra le altre esperienze citava quella, in cui applicate le due armature sul nervo, si manifestavano egualmente le contrazioni, quantunque in questo caso l'arco eccitatore che produceva la scarica, fosse appoggiato con le sue estremità sul conduttore della pretesa macchina elettrica. Si vede chiaramente, che questa osservazione si opponeva a tutte le maniere fino allora proposte di concepire il fenomeno.

za di una quantità di fluido elettrico, proporzionata alla natura e all'organizzazione dei diversi individui, l'eccitamento di esso, e quindi il suo aumento o la sua diminuzione devon produrre una rottura d'equilibrio più o meno sensibile. E poichè i nervi son gli organi della sensibilità, e i muscoli operano per l'influenza dei nervi, è naturale che questi organi debbano essere i più irritabili in virtù d'un disequilibrio di questo genere. Dunque si presenta come naturalmente la spiegazione di questa classe di fenomeni per mezzo del principio stabilito dell'unico fluido elettrico. Facilissimo egualmente sarà il tradurre nel nostro linguaggio la spiegazione dei fenomeni elettrici, nati dal contatto di due metalli (§. 781. e seg.), dei quali uno si elettrizza in . . e l'altro in —.

(*a*) *Histoire de l'Électricité* T. I. p. 58.

(*b*) V. la lettera di Carminiati a Galvani *Comment. p.* 67 *e seg.*

(*c*) V. la risposta del Galvani a Carminiati, *Ibid.*

Digitized by Google

783. Nelle prime esperienze di questo genere, Galvani ne attribuiva gli effetti all'azione che aveva l'elettricismo ordinario sopra gli organi della rana; ma cambiò ben presto pensiero, e ridusse tutto ad una combinazione dei medesimi organi e d'un arco metallico. Pareva che non potesse immaginarsi nulla di più semplice di questo apparecchio; ma non era ancor giunto il tempo in cui Volta doveva annunziare ai fisici, che erano necessarii due metalli per rendere evidente il vero principio della teoria; e da questo punto noi partiremo per la dimostrazione del presente argomento.

AZIONE SCAMBIEVOLE DI DUE METALLI A CONTATTO.

784. Era stata opinione comune, che nelle esperienze che si facevano sulle ranocchie, la causa dell'elettricismo che compariva in queste, dipendesse dall'arco animale; mentre anzi questo non serve che a riceverlo e a manifestare l'effetto, e la vera causa è riposta nell'arco metallico: nel qual arco era stato osservato, che l'unione di due metalli di diversa natura era una circostanza importante per il buon esito delle esperienze; ed è tanto importante, che appunto il contatto di questi due metalli produce l'azione elettrica. Ecco dunque il fatto principale da cui derivano tutti gli altri.

785. Se si mettano a contatto due metalli diversi isolati, e che non abbiano se non il proprio fluido elettrico naturale, si elettrizzano ciascuno in una maniera opposta, sicchè se vengano separati, uno darà segni di elettricismo vitreo, e l'altro di resinoso. Supponiamo per esempio che si applichino l'uno sull'altro due dischi, uno *z* di zinco, e l'altro *r* di rame, (*fig.* 103), attaccati nel centro delle superficie esterne a due cilindri di vetro *df*, *ab*, perchè restino isolati: in tal caso lo zinco acquisterà l'elettricismo vitreo, e il rame il resinoso, come può verificarsi per mezzo del condensatore (*fig* 104) che già abbiamo descritto (§. 722) Separati i due dischi, si porti quello di zinco sul bottone *g*, e nel tempo stesso si tocchi con quello di rame qualche corpo vicino, per rimettere questo disco nello stato naturale, e si ripeta questa operazione più volte, per accumulare nel piatto collettore le piccole quantità di fluido vitreo, che acquista lo zinco ogni volta che si applicano i due dischi uno sull'altro. Se quindi si toglie il piatto superiore *ab*, i fili di paglia dell'elettrometro si discosteranno fra loro, e accostando al bottone un cannello di cera lacca, eletrizzato per confricazione, si scorgerà nei fili un elet-

tricismo vitreo, perchè si avvicineranno fra loro. E se si ripeta l'esperienza, ponendo in vece del disco di zinco quello di rame, e mettendolo a contatto con il bottone g, dopo ciascuna applicazione dei due dischi si troverà che resinoso è l'elettricismo dei fili di paglia.

786. Per render più facile la spiegazione dei fenomeni, rappresenteremo con l'unità la somma dei due elettricismi vitreo e resinoso, l'uno dei quali appartiene allo zinco e l'altro al rame: essendo questa somma divisa egualmente fra i due dischi, la quantità di fluido di ciascuno di essi sarà ; e se per distinguere la frazione che indica l'elettricismo resinoso ci serviamo del segno negativo, lo stato dello zinco sarà espresso da $+\frac{1}{2}$, e quello del rame da $-\frac{1}{2}$. Vedremo fra poco, che quantunque le quantità assolute di fluido possano variare nei due metalli per effetto di alcune circostanze, la differenza 1 fra gli stati dei due dischi resta costantemente la stessa.

Nell'esprimere in tal modo lo stato dei due dischi, supponiamo che sieno isolati: ma se frattanto si metta in comunicazione il disco di rame con i corpi vicini, questo disco tenderà a prendere dal terreno una quantità d'elettricismo vitreo, capace di neutralizzare il suo elettricismo resinoso, e quindi il suo nuovo stato sarà rappresentato da zero. Ma se lo zinco, lo stato del quale era rappresentato da $+\frac{1}{2}$, non provasse nel tempo stesso verun cambiamento, la differenza fra gli stati dei due dischi sarebbe semplicemente ; ma per quanto abbiamo detto essa deve essere eguale all'unità; dunque sarà necessario che lo zinco acquisti a scapito del terreno una nuova quantità di fluido vitreo, eguale a quella che già aveva, e quindi restando sempre zero lo stato del rame, quello dello zinco sarà rappresentato dall'unità. Se al contrario fosse il disco di zinco in comunicazione con i corpi vicini, chiaramente si vede che il suo stato diverrebbe zero, e quello del rame sarebbe -1.

EFFETTI DEI CONDUTTORI UMIDI.

787. Introduciamo ora nell'apparecchio alcuni corpi imbevuti di acqua, e vediamo ciò che debba resultarne. Volta è d'opinione, che quando uno di questi corpi è situato fra due metalli, non fa che trasmettere il fluido da un metallo all'altro, almeno per quanto può scorgersi; e quindi il fluido elettrico si distribuisce come nei casi ordinarii; cioè se i metalli sono di figura simile e di egual superficie, saranno pure eguali le loro quantità dei fluido dopo la comunicazione.

In tal maniera vi sono due casi d'equilibrio, uno a contatto, il quale richiede una differenza di stato, eguale ad una costante fra i metalli di diversa natura, l'altro a distanza, con l'interposizione di un

corpo umido, il quale in circostanze eguali richiede che i metalli sieno nel medesimo stato elettrico.

788. Questi due casi di equilibrio si osservano chiaramente nelle seguenti esperienze Si prenda una lastra metallica formata di due pezzi, uno di zinco e l'altro di rame saldati alle estremità; e tenendo in mano l'estremità rame, si tocchi con l'estremità zinco il bottone *g* del piatto collettore che è di rame. Se quindi si alzi il piatto non isolato, i fili di paglia dell'elettrometro non daranno alcun segno di elettricismo: essendo infatti zero lo stato del rame che si tiene in mano, perchè il metallo comunica con i corpi vicini, lo stato dello zinco sarà 1; e poichè deve esistere la stessa differenza fra lo zinco e il piatto collettore, lo stato di questo sarà pure zero; dal che resulta che l'apparecchio non avrà sofferto verun cambiamento.

789. Se si ponga un cartone inzuppato d'acqua fra lo zinco ed il piatto collettore, questo si caricherà d'elettricismo vitreo: infatti, affinchè sussistano sempre i due casi di equilibrio, bisogna che lo stato dell'estremità rame che si tiene fra le dita, sia sempre zero, che quello dello zinco sia sempre 1. e quello del piatto collettore, che supponiamo eguale in dimensioni al pezzo di zinco, sia del pari rappresentato dall'unità; e dall'altra parte è evidente che l'elettricismo di questo piatto deve essere vitreo come quello dello zinco

790. Questa maniera di concepire la produzione dell'elettricismo fra due metalli a contatto, è alquanto diversa da quella con cui la concepiva il Volta. Sembra infatti che egli ammetta un impulso che faccia passare nello zinco una porzione del fluido elettrico del rame, e quindi è che il primo si trova elettrizzato positivamente e l'altro negativamente. Nelle esperienze precedenti (§. 788), in cui si mette a contatto immediato col piatto collettore del condensatore un pezzo di zinco, attaccato ad un pezzo di rame che si tiene in mano, il piatto collettore resta nel suo stato naturale, perchè lo zinco è a contatto con il rame da ambedue i suoi lati, e quindi esistono in questo caso due forze eguali, che operando in modo contrario si distruggono scambievolmente (*a*). In questo proposito abbiamo tenuto lo stesso metodo, che tenemmo relativamente all'elettricismo sviluppato per via di confricazione o di calore, cioè ci siamo limitati alla semplice enunciazione dei fatti, senza considerare la forza motrice, la quale non conosciamo finora quanto basta per poterne parlare con certezza.

(*a*) *Journal de Physique, vendemiaire*, An. X, p. 212.

791. Possiamo ora spiegare gli effetti dell'apparecchio che si chiama la *pila di Volta*, e in questa spiegazione prenderemo per guida l'opera più metodica e più chiara che sia comparsa finora su questo argomento, cioè il rapporto che Biot fece alla società delle scienze matematiche e fisiche dell'Istituto nazionale, in nome di una commissione composta di 12 membri scelti nella medesima società. Questa pila è formata di dischi di due metalli diversi, come rame e zinco, uniti con le facce loro a due a due, e con dischi di cartone o panno inzuppato, interposti fra ciascuna coppia di dischi, come si osserva nella *fig.* 105, dove la lettera *r* indica i dischi di rame, la lettera *z* i dischi di zinco e la lettera *u* i conduttori umidi; e ciascuna coppia di dischi si riguarda come un elemento della pila.

Stato elettrico della pila isolata.

792. Consideriamo primieramente la pila come isolata, e supponiamola costruita in modo che la sola prima coppia *r*1, *z*2, sia sull'isolatore, col rame dalla parte inferiore. Da quanto abbiamo detto apparisce chiaramente, che lo stato del rame sarà $-\frac{1}{2}$, e quello dello zinco $+\frac{1}{2}$. Poniamo ora sopra il disco *z*2 un conduttore umido *u*, e sopra questo un disco di rame *r*3: in tal caso perchè sussistesse l'equilibrio, bisarebbe che lo zinco *z*2 cedesse al rame *r*3 la metà del suo fluido, e allora lo stato del rame *r*1 essendo sempre $-\frac{1}{2}$, quello dello zinco *z*2 sarebbe $\frac{1}{4}$, e quello del rame *r*3 sarebbe pure $\frac{1}{4}$. Ma in tal caso la differenza fra i due primi dischi sarebbe $\frac{3}{4}$ soltanto, mentre dovrebbe essere eguale all'unità: dunque accaderà fra i tre corpi una nuova distribuzione di fluido, per la quale lo stato del rame *r*1 diverrà $-\frac{1}{3}$, quello dello zinco *z*2 sarà $-\frac{2}{3}+1$, ossia $+\frac{1}{3}$ e quello di *r*3 sarà parimente $+\frac{1}{3}$, lo che soddisfa alle due condizioni dell'equilibrio. Se aggiungiamo un quarto disco *z*4, questo dovrà avere una unità di più del rame *r*3, lo che richiederà un nuovo cambiamento nelle quantità relative di fluido dei dischi inferiori, sicchè si avrà -1 per il rame *r*1, o per lo zinco *z*2, o per il rame *r*3, e 1 per lo zinco *z*4.

Proseguendo lo stesso ragionamento si troveranno facilmente gli stati elettrici delle diverse parti della pila, di qualunque numero di dischi sia essa composta. Le quantità d'elettricismo vitreo e quelle di elettricismo resinoso formeranno due progressioni aritmetiche, in ciascuna delle quali la differenza fra due termini consecutivi sarà l'unità.

Digitized by Google

793. Se il numero dei dischi sia pari, si avrà lo stato del primo r 1 dividendo questo numero per 4, e indicando il quoziente col segno negativo. Così nella pila rappresentata dalla figura, e che è composta di 12 dischi, lo stato del primo è $-\frac{12}{4}$ ossia -3, dal che resulta per le diverse coppie $-3-2$, $-2-1$, $-1+0$, $+0+1$, $+1+2$, $+2+3$. Nel qual caso la somma delle due progressioni sarà sempre zero; il disco inferiore che è di rame, e il superiore che è di zinco, saranno in due stati eguali ed opposti di elettricismo; e lo stesso sarà di due dischi qualunque presi ad egual distanza dalle estremità. Inoltre l'azione cesserà prima del passaggio dell'elettricismo resinoso all'elettricismo vitreo, sicchè i due dischi situati nel mezzo della pila saranno nello stato naturale.

Se il numero dei dischi è dispari, si troverà lo stato del primo r 1, prendendo primieramente il quarto di questo numero col segno negativo, e aggiungendo al quoziente l'unità divisa per il quadruplo del numero stesso. Supponiamo per esempio che i dischi sieno 7, lo stato del primo sarà $-\frac{7}{4}+\frac{1}{28}$ ossia $-\frac{12}{7}$: così per i diversi dischi avremo successivamente $-\frac{12}{7}$, $-\frac{5}{7}$, $-\frac{5}{7}$, $+\frac{2}{7}$, $+\frac{2}{7}$, $+\frac{9}{7}$, $+\frac{9}{7}$; in tutti i quali casi la somma totale è sempre zero.

Passaggio dallo stato di isolamento a quello di comunicazione col terreno.

794. Si ponga ora l'ultimo disco z 12 a contatto con un corpo conduttore isolato, che sia nello stato naturale, e che chiameremo A; il disco z 12 gli comunicherà una porzione del suo fluido, lo che non potrà fare però se il disco r 11 non ceda esso pure al disco z 12 una porzione del suo, e così di seguito; sicchè i dischi z6, r7 che erano nello stato di zero, passeranno allo stato negativo, e gli stati dei dischi inferiori diverranno sempre più negativi.

795. Rischiariamo questa verità con un esempio. Abbiamo veduto che il progresso dell'elettricismo nella pila ridotta ai suoi elementi, è rappresentato dalla serie $-3-2$, $-2-1$, $-1+0$, $+0+1$, $+1+2$, $+2+3$. Figuriamoci dunque che il corpo A, che è messo a contatto col disco z12, abbia una capacità elettrica sei volte maggiore di quella del disco stesso, cioè che in riguardo di una superficie più estesa e di altre circostanze, abbia bisogno di una quantità di fluido elettrico sei volte maggiore di quella che basterebbe per il disco z 12, affinchè essendo la stessa da una parte e dall'altra la tensione o la densità elettrica, sussista l'equilibrio fra i due corpi. La nuova distribuzione che si farà nella pila a motivo dell'intervento del corpo A, sarà rappresentata dalla serie seguente, $-4-3$, $-3-2$, $-2-1$,

$-1+0, +0+1, +1+2, 12$; nella quale l'ultimo termine 12 esprime lo stato del corpo A: in tal maniera le quantità di fluido del disco z 12 e del corpo A, soddisfanno alla condizione dell'equilibrio, la quale richiede che esse sieno in ragione delle capacità elettriche (*a*): inoltre la differenza di stato fra ciascun disco ed il susseguente è sempre eguale all' unità. Finalmente la somma $+16$ dei termini positivi, compreso il corpo A, che sotto questo aspetto si riguarda come se formasse un disco solo con il disco z 12, è eguale, prescindendo dal segno, alla somma -16 dei termini negativi, conforme alla legge che abbiamo esposta (§. 793).

Da questa medesima distribuzione resulta, che il punto zero non è più nel mezzo della serie, ma si trova due ordini sopra alla sua prima situazione; e ciò accade perchè una parte della somma $+16$ dei termini positivi venendo somministrata dal corpo A aggiunto alla pila, il numero di quelli che appartengono esclusivamente a questa pila deve esser minore di quello dei termini negativi, la somma dei quali è -16.

796. Se la capacità del corpo A è tale, che la quantità del fluido del disco z 12 non possa essere un numero intero, non esisterà il punto zero, ma esisteranno solamente termini positivi e termini negativi. Così supponendo che la capacità di A sia quadrupla soltanto di quella di z 12, si avrà questa serie, $-\frac{25}{4}-\frac{17}{4}, -\frac{11}{4}-\frac{7}{4}, -\frac{7}{4}-\frac{3}{4}, -\frac{3}{4}+\frac{1}{4}, +\frac{1}{4}+\frac{5}{4}, +\frac{5}{4}+\frac{9}{4}, 9$; nella quale la somma dei termini positivi è $+\frac{57}{4}$, e quella dei termini negativi è $-\frac{57}{4}$. In questo caso il punto zero si riguarda come se fosse fra il quinto e il sesto rotto, cominciando dal primo (*b*).

797. Da quanto abbiamo detto si vede che la situazione o reale o virtuale dello zero è tanto più alta, quanto più cresce la capacità del corpo A, e quanto nel tempo stesso scema la tensione elettrica dell'ultimo disco. Dunque se si supponga infinita la capacità del corpo A, lo zero corrisponderà all'estremità superiore della pila, cioè essendo infinitesima o nulla la tensione elettrica dell'ultimo disco, questo sarà nello stato naturale, mentre il rimanente della pila sarà nello stato resinoso. È questo il caso di una pila isolata in basso, e il disco superiore della quale comunica col serbatoio comune, il quale si riguarda come d' una capacità immensa relativamente a quella del disco medesimo.

(*a*) Sia x la quantità di fluido che deve avere il disco z 12 nel caso dell' equilibrio, n il numero delle coppie di dischi di cui è composta la pila, e q la capacità del corpo A, quando quella dell' ultimo disco è l' unità; si avrà in generale $x=\frac{n^2}{2n+q}$.

(*b*) Applicando a questo caso la formula precedente, si ha $n=6$, e $q=4$, dal che si ha $x=\frac{36}{12+4}=\frac{9}{4}$, dopo di che è facile trovare il resto.

798. Se al contrario il corpo A sia messo a contatto con l'estremità inferiore della pila, resulteranno effetti opposti ai precedenti, cioè il primo disco $r1$ cederà al corpo A una porzione del suo fluido resinoso, e parimente una tale emissione accaderà da un disco all'altro scendendo dall'alto in basso, dimanierachè i dischi $z6$, $r7$ che erano a zero, passeranno allo stato positivo, e lo stato di ciascun disco superiore diverrà sempre più positivo. Se supponiamo nuovamente che il corpo A abbia una capacità sestupla di quella del disco $r1$, si avrà questa serie -12, $-2-1$, $-1+0$, $+0+1$, $1+2$, $+2+3$, $+3+4$; in cui il primo termine rappresenta lo stato del corpo A, il quale egualmente che qualunque altro termine della pila è lo stesso che nel nostro primo esempio, se non che l'ordine è inverso e i segni son cambiati.

799. Se cresca maggiormente la capacità del corpo A, si abbasserà sempre più la situazione del punto zero, e per conseguenza si indebolirà la tensione del primo disco; e se si riguardi come infinita la capacità del corpo A, lo zero corrisponderà all' estremità inferiore della pila, tutti i dischi della quale dopo il primo saranno in stato vitreo; ed è questo il caso di una pila isolata in alto, e che con la base inferiore comunica col serbatoio comune.

E poichè in questo caso la distribuzione del fluido vitreo deve sempre accadere in modo, che la differenza fra gli stati dei dischi di una stessa coppia sia l'unità, e poichè esiste eguaglianza fra due dischi situati da una parte e dall'altra di ciascun conduttore umido, si vede chiaramente che gli stati dei differenti dischi della pila saranno successivamente 0, 1; 1, 2, 2, 3; 3, 4; 4, 5; ec: quindi è che gli stati relativi a ciascuna specie di metallo, formeranno una progressione aritmetica crescente, di cui il primo termine sarà zero per il rame, e l'unità per lo zinco, e nella quale la differenza fra due termini successivi sarà pure l'unità. Lo stesso raziocinio si applica al caso in cui la pila comunica con la sua base superiore con il serbatoio comune, se non che i segni dei termini della progressione saranno allora negativi.

800. In tutti e due i casi però, la somma dei termini delle due progressioni riunite sarà espressa dal quadrato del numero dei dischi di una stessa specie, supponendo sempre che sia pari il numero totale dei dischi. Così nella pila rappresentata dalla figura, e che contiene sei dischi di ciascuna specie di metallo, la somma dei termini, ossia la carica della pila sarà espressa da 36. Dunque a circostanze eguali, i fenomeni che dipendono dalla quantità di elettricismo accumulato nella pila, crescono più rapidamente di quelli che dipendono dalla quantità sparsa sul disco superiore. Per esempio se si aggiungono due dischi ai dodici che compongono la pila suddetta, la carica sarà rappresentata

da 49, numero che differisce di 13 dal precedente, mentre lo stato del disco superiore sarà espresso da 7, numero che differisce solo di un'unità da quello che rappresenta lo stato del primo disco nella pila precedente.

Questa legge che abbiamo esposta relativamente ai diversi stati dei dischi che si succedono nella pila, è la più semplice che possa immaginarsi; ma forse potrà essa modificarsi in conseguenza di esperienze più esatte di quelle che sono state fatte fin qui; e non è improbabile che esistano qui alcune altre azioni che contribuiscono al fenomeno, benchè più debolmente dei metalli; lo che dovrà pure essere soggetto di osservazione, se si vorrà giungere a una determinazione rigorosa, per la quale saranno necessarii i soccorsi di una Fisica ingegnosa, uniti a quelli di un' analisi profonda.

801. Per meglio comprendere la differenza che passa fra la pila isolata e quella non isolata, paragoniamole insieme relativamente ai loro effetti per caricare il condensatore. Se si ponga il disco superiore di una pila isolata a contatto con il piatto collettore di questo strumento, questo attrarrà una porzione dell'elettricismo della pila; dimanierachè le quantità di fluido dei diversi dischi varieranno, finchè venga a stabilirsi di nuovo l'equilibrio. Ma la carica del condensatore sarà limitata alla circostanza stessa dell' isolamento, che riduce la pila a non aver più se non la sua quantità naturale di fluido, senza poter nulla togliere ai corpi vicini. Se al contrario la pila comunichi col terreno con la sua base, a misura che cederà porzione del suo fluido al piatto collettore, riparerà le sue perdite a scapito del serbatoio comune, sicchè resterà la stessa la tensione del suo disco superiore, e il condensatore si caricherà gradatamente di una quantità di fluido proporzionato alla sua capacità e alla sua forza condensatrice Di qui si vede che in questo ultimo caso la carica del condensatore, in eguali circostanze, sarà notabilmente maggiore, di quello che se la pila fosse isolata.

802. Tutti questi resultamenti tendono a provare che gli aumenti di densità elettrica nei varii dischi, andando dalla base al vertice in una pila non isolata, e dal mezzo verso le estremità in una pila isolata, dipendono dall'interposizione dei conduttori umidi. Che se si componga una pila non isolata, unicamente di elementi metallici posti immediatamente uno sopra l'altro, l'effetto del primo elemento verrà ripetuto dalla base al vertice senza aumento veruno; dimanierachè se la pila comincia secondo il solito da un disco di rame, gli stati elettrici dei suoi diversi elementi saranno rappresentati da questa serie $0+1$, $0+2$, $0+1$, ec: e se all' opposto la pila è isolata, la serie diventerà, $-+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$, ec.; e quindi tanto nell' una che nell'altra ipote-

si, nulla si guadagnerebbe con l'aumentare il numero dei dischi, ossia l'altezza della pila (*a*).

803. Alcuni fisici avevano adottato una maniera di costruire la pila diversa da quella che abbiamo descritta, nella quale i dischi e i conduttori umidi son posti in questo ordine: rame, zinco, umido; rame, zinco, umido, ec., e che termina con due dischi che son pure rame e zinco; mentre nella nuova costruzione son disposti, zinco, umido, rame; zinco, umido, rame, ec., e sopra l'ultimo conduttore umido si pone un solo disco di rame. Queste due maniere di formare la pila han fatto nascere varie discussioni tra i Fisici: gli uni sostenevano che il vero elemento della pila era una coppia di dischi, cioè rame e zinco, seguita da un conduttore umido, mentre secondo l'opinione degli altri, questo elemento della pila era composto di zinco, umido e rame; ma la questione si scioglie facilmente con i principii che abbiamo esposti. Nella seconda maniera di disporre la pila, il disco di zinco che serve di base si riguarda come parte del serbatoio comune, e la vera pila principia al primo disco di rame che è a contatto con un disco di zinco. Dall'altra parte il disco di rame, che solo termina la pila all'estremita superiore, non fa che dividere, per mezzo di un corpo umido che lo precede, il fluido dello zinco a contatto con questo ultimo corpo. Quindi è che se si metta un filo metallico in comunicazione con lo zinco che comincia la pila, e un altro con il rame che la termina, il primo filo sarà elettrizzato resinosamente, e il secondo vitreamente; sicchè questa pila sembrerà produrre effetti opposti a quelli della prima, ma tutto apparirà uniforme, se si distinguano i punti per cui si mettono a contatto i due fili, da quelli che danno i veri limiti della pila.

Paragone della Pila con la Tormalina.

804. Fra i varii corpi che hanno servito per fare esperienze elettriche prima della scoperta del galvanismo, la tormalina (§. 747) pareva che più d'ogni altro si assomigliasse alla pila isolata, almeno relativamente alla distribuzione dei due elettricismi. Nella tormalina egualmente che nella pila, le azioni di questi elettricismi vanno gradatamente scemando dalle estremità fino a un certo punto dove si riducono a zero. Inoltre facilmente si comprende, che se si divida una pila in più

(*a*) *Volta*, Dell' elettricismo detto galvanico. *Annal. de Chimie* 30 Frimaire An. X, p. 250.

porzioni, composte ciascuna di un certo numero d' elementi, e si isolino queste differenti porzioni, diverranno esse nel momento tante pile complete, le metà delle quali saranno elettrizzate in modo contrario, come accade del pari nei frammenti staccati di una tormalina: nondimeno, per quanto possiamo giudicarne nello stato presente delle nostre cognizioni, esistono differenze notabili fra questi due corpi. Nella elettrizzazione della pila ciascun fluido vien trasmesso da un disco all' altro per mezzo d' un conduttore umido; al contrario quando si elettrizza la tormalina, ciascun fluido dopo che è sviluppato, resta nella molecola nella quale prima era in stato di combinazione (§. 753). Inoltre le densità elettriche della pila scemano a poco a poco dalle estremità fino al mezzo, dove divengono nulle, mentre nella tormalina scemano rapidamente, in modo che i punti in cui esse si riducono a zero sono più o meno vicini alle estremità.

805. Da quanto abbiamo detto resulta, che la teoria del celebre Fisico di Pavia è appoggiata interamente sul fenomeno sino allora sconosciuto, di un elettricismo prodotto non già dalla confricazione, dalla comunicazione o dal calore, ma dal semplice contatto di due metalli. Se relativamente a questo soggetto si potessero trovare presso gli antichi alcuni di quei primi lampi, che precedono talora da lungi le brillanti scoperte, ma che son passeggieri, ne troveremmo soltanto qualcuno nelle poche cose che Newton scrisse sull' elettricismo, che allora era quasi nascente. Questo illustre filosofo dopo avere osservato che le attrazioni prodotte dalla gravità e dalle virtù magnetica ed elettrica, si estendono a grandissime distanze, dimanierachè sono state ravvisate perfino dagli uomini più volgari, aggiunge che potrebbero forse esistere ancora certe attrazioni contenute in uno spazio sì angusto, da essere sfuggite fino allora a qualunque osservazione; e che forse l' attrazione elettrica particolarmente opera a piccolissimi intervalli, senza aver bisogno di essere eccitata dalla confricazione (*a*).

VARIE ESPERIENZE FATTE CON LA PILA

806. L' azione elettrica che si osservava nel contatto scambievole dei metalli nelle esperienze sulla rana, era debolissima per se stessa, e solamente ne rendeva sensibili gli effetti la grande irritabilità degli organi che ne erano il soggetto. Questa medesima azione trasportata

(*a*) *Optice Lucis, edit. Lausannae et Genevae, Lib. III. Quaest. XXXI.* p. 304.

nella pila, in cui col moltiplicarsi diventa sempre maggiore, è divenuta capace di produrre con la sola sua energia una moltitudine di fenomeni analoghi a quelli dell'elettricismo ordinario, con le differenze che resultano naturalmente da quella che passa fra i moti del fluido, negli apparecchi che si usano in ambedue i casi.

Scossa.

807. Torniamo al caso in cui la pila è in comunicazione col terreno. Se con una mano si tocca il vertice della pila e con l'altra la base, si prova una scossa continua che intormentisce in certo modo gli organi, e si fa sentire qualche volta nella mano soltanto, e qualche volta si estende sino al gomito, secondo il grado di tensione della pila: in tal caso la pila si scarica dalla parte superiore dell'eccesso di fluido dei suoi dischi, mentre ripara le sue perdite col fluido che prende per parte della sua base; e così ne resulta una corrente elettrica non interrotta che si divide fra gli organi e il terreno, e che, relativamente ai primi, è la causa della sensazione che si prova in questa esperienza.

808. Se la pila sia isolata, essendo la sua metà inferiore nello stato negativo, ossia nello stato d'elettricismo resinoso, primieramente tenderà a prendere di nuovo, a scapito degli organi, la quantità di fluido vitreo necessaria per ridurla nello stato medesimo, in cui si trovava quando non era isolata, cioè in quello stato in cui era caricata unicamente da tali quantità di fluido vitreo, le quali crescevano dalla base fino al vertice: quindi si aprirà la circolazione a traverso degli organi, come nel caso di una pila non isolata. Ma poichè gli organi sono conduttori imperfetti, ne segue che quando la pila è isolata, la colonna si carica in generale meno rapidamente, che quando ripara le sue perdite a scapito del terreno, col quale è in comunicazione; e sotto questo aspetto gli effetti della scossa debbono essere meno sensibili. Sembra però che il più rapido moto del fluido nel primo istante, e l'azione più concentrata della scarica, l'effetto della quale non più si divide fra gli organi e il terreno, compensino abbondantissimamente una tal diminuzione. Questa spiegazione concorda con le esperienze del famoso Van-Marum, che in generale ha ottenuto più sensibili effetti da una colonna isolata che da una non isolata, ed ha osservato che nel primo caso le scosse particolarmente erano fortissime (*a*).

(*a*) *Annal. de Chimie*; 30 Frimaire An. X. p. 305 e 306.

Digitized by Google

809. Diverrà ancora più sensibile la scossa, se chi vuol provarla si bagni le mani prima di toccare le due estremità della pila; poichè in questo caso il liquido che ha una facoltà conduttrice migliore di quella degli organi, facilita la trasmissione dell'elettricismo a traverso di questi; e tale scossa diverrà più energica ancora, se si tocchino le estremità della pila con due tubi di metallo tenuti nelle mani bagnate. Se più persone si tengano fra loro per mano, formando una catena, e la prima tocchi la base superiore della pila, e l'ultima la base inferiore, e se inoltre tutte abbiano le mani bagnate, la scossa sarà sentita da tutte, purchè sieno in tal numero che sia proporzionato alla carica della pila (*a*).

810. Fin qui abbiam supposto che i corpi bagnati interposti nella pila sieno inzuppati di acqua pura: ma se si usi invece una dissoluzione salina, come di muriato di soda, o meglio ancora di muriato di ammoniaca, la scossa è incomparabilmente più forte. Da questa osservazione Volta concluse, che le dissoluzioni saline accrescono l'azione della pila, specialmente perchè accrescono la facoltà conduttrice dell'acqua di cui è inzuppato il cartone o il panno.

Carica della boccia di Leida.

811. Se si mette la pallina della boccia di Leida a contatto con l'estremità superiore della pila, facendo nel tempo stesso comunicare la sua superficie esterna con i corpi vicini, questa boccia si caricherà in maniera, che la sua tensione sarà quasi eguale a quella della pila.

Attrazione.

812. Se si attacchi al vertice della pila un sottil filo metallico, e un altro alla base, e si pieghino in modo che le estremità di essi sieno vicinissime; e se nel tempo medesimo sieno essi bastantemente mobili, gli elettricismi contrarii di cui si caricano faranno sì che essi si avvicinino fra loro fino a toccarsi; e se in tal caso si voglia allontanare uno di questi fili dalla sua situazione, l'altro lo seguirà pure, conservando con esso la sua adesione.

Da tutto questo si vede, che fra gli effetti di una macchina ordinaria e quelli della pila passa questa differenza, cioè che mentre i primi sono annullati da un solo contatto, gli altri si perpetuano per tutto il tempo del contatto. La pila dunque, montata che sia, diventa essa pure come un serbatoio d'elettricismo, che senza il soccorso e quasi a dispetto del

(*a*) *Histoire du Galvanisme* T. II. p. 8.

fisico si riempie naturalmente, va sempre guadagnando ciò che le vien tolto, e sarebbe inesausto se i corpi umidi di cui è composta in parte la pila non fossero soggetti a prosciugarsi.

Combustione.

813. Abbiam veduto (§. 713) che facendo passare a traverso di un filo metallico la scarica di una batteria, essa produce la combustione di quello; ma per mezzo della pila si ottiene più facilmente un effetto analogo, poichè basta toccare nel tempo stesso le due estremità di una pila con un filo di ferro, per veder nascere una scintilla nel punto di contatto; e se la pila è molto caricata, il filo diventa incandescente, e se ne abbrucia una maggiore o minor quantità.

INFLUENZA DEL NUMERO E DELLA GRANDEZZA DEI DISCHI.

814. Possiamo ora paragonare fra loro gli effetti di diverse pile, i quali variano secondo che varia il numero e l'estensione dei dischi che le compongono; nel qual proposito adotteremo i resultamenti che con la sua nota esattezza ottenne Van-Marum con le sue esperienze (*a*).

Abbiamo veduto (§. 792), che aumentando il numero dei dischi della pila, essa in eguaglianza di circostanze, esercita un'azione più energica in ragione del più alto grado di tensione. Se però si suppongano due colonne formate di egual numero di dischi, ma di diametri molto diversi, le tensioni, come osserva Van-Marum, saranno eguali in ambedue, e ambedue produrrano una scossa quasi di egual forza; ma la colonna composta dei dischi più larghi, avrà più efficacia dell'altra per bruciare un filo metallico.

815. E che le tensioni debbano essere eguali, facilmente si comprende. Infatti una pila composta di larghi dischi può qui considerarsi come una riunione di pile composte di dischi stretti, posti gli uni accanto gli altri, e ciascuno dei quali avesse una tensione eguale a quella di una sola pila separata; quindi ne segue solamente, che la quantità totale di fluido sarà maggiore nella pila di larghi dischi che nell'altra; ma la tensione, la quale dipende dalla densità (§. 606), ossia dalla quantità di fluido accumulato in ciascun punto, sarà la stessa in ambedue.

816. In quanto poi alle scosse prodotte dalle due pile, per comprendere la ragione per cui sono poco diverse fra loro, bisogna osservare che la scossa non è qui un effetto istantaneo come nell'esperienza di

(*a*) *Annal. de Chimie*; 30 *Frim* An. X. p. 299, e seg.

Leida, ma resulta da una moltitudine di piccole scosse, le quali pur si succedono, benchè con una rapidità inconcepibile. Bisogna considerare inoltre, che i dischi non ritornano nel loro stato primitivo, mentre si va scaricando la pila, se non gradatamente; e quindi quando ci serviamo di conduttori metallici molto estesi, la pila impiega qualche tempo per tornare allo stesso grado di tensione. Ora da una parte l'effetto iniziale che accade al principio della scarica, è maggiore in una pila di larghi dischi, nella quale la massa di fluido è parimente maggiore; ma dall'altra parte negl' istanti susseguenti, questa pila non torna nel suo stato primitivo tanto rapidamente, quanto in quella composta di dischi minori, perchè il fluido ha bisogno di un tempo maggiore per spargersi sopra maggiori superficie, e condensarsi uniformemente sulle medesime. Sembra dunque che venga a stabilirsi una specie di compensazione fra l' effetto della maggior massa che opera nel primo istante, e quello della minor celerità negl' istanti successivi, sicchè l' effetto totale non è molto maggiore di quello che vien prodotto da una pila di piccoli dischi, nella quale ordinariamente la velocità del fluido è più accelerata, ma minore è la sua massa.

817. Vediamo per ultimo in qual maniera riesca più facile la combustione nella pila di larghi dischi. Il fluido nel primo istante esercita egualmente un' azione molto maggiore in virtù della sua massa, per la qual cosa diviene tanto più opportuno per produrre il principio della combustione, quanto che il filo metallico può paragonarsi a un sottilissimo canale che si presenta per ricevere un abbondante e rapido effluvio: ma principiata che sia la combustione, è conservata dal calore del fil di ferro, unito all' azione delle nuove quantità di fluido che sopraggiungono.

818. Van-Marum volle paragonare per mezzo dell'esperienza la carica della pila e quella di una batteria di 25 bicchieri, l'armatura dei quali formava in tutto una superficie di piedi quadri 137 ½. E primieramente osservò che una pila di 220 coppie metalliche d' argento e di zinco, per mezzo di un sol contatto momentaneo, caricava la batteria a un tal grado, che eguagliava quello della sua propria tensione; dimanierachè la pila e la batteria producevano lo stesso effetto sull' elettrometro: le scosse però prodotte dalla batteria erano meno forti di quelle prodotte dalla pila; e ciò doveva essere, perchè la scarica della batteria era limitata all' azione del fluido che si trovava sparso sopra essa nel momento della scossa, mentre in questo momento necessariamente composto, per brevissimo che fosse, la pila aveva gia cominciato a caricarsi di nuovo.

Gli effetti della pila furono poi paragonati con quelli di una macchina elettrica, il disco della quale aveva circa 31 pollici di diametro;

e si voleva sapere quanti contatti del conduttore di questa macchina sarebbero necessarii per caricare una batteria, a un grado di tensione eguale a quello che verrebbe prodotto da un sol contatto della pila: ma perchè gli effetti di queste osservazioni fossero paragonabili fra loro, bisognava fare in maniera che la batteria, nel tempo del suo contatto col conduttore, ricevesse soltanto quella quantità d' elettricismo che il conduttore stesso poteva somministrare, in virtù di un moto del disco di una durata eguale a quella di questo contatto. Per giungere a questo scopo Van-Marum applicava primieramente un dito sul conduttore, mentre il disco era in moto, e lasciava quindi un piccolissimo intervallo fra l' istante in cui ritirava il dito, e quello in cui metteva a contatto col conduttore un filo metallico, che avvicinava ad esso con l' altra mano per mezzo di un corpo isolatore, e che comunicava col fondo della batteria: in tal maniera la carica della batteria si riduceva al fluido che il disco sviluppava nel momento del contatto. L' esperienza dimostrò che erano necessarii sei di questi contatti per caricare la batteria, ad un grado di tensione eguale a quello che resultava da un sol contatto della colonna (*a*).

Eccita veramente la maraviglia il vedere in questi resultamenti, quale immensa quantità di fluido elettrico si accumula in un tempo brevissimo nella pila di Volta, e la gran velocità con cui questo fluido vien mosso in questo strumento, il quale per se solo ancora è maraviglioso, in quanto che non ha bisogno che di se medesimo per acquistare il suo potere.

819. Gay-Lussac e Thenard, che con nuove ricerche hanno dato una spiegazione più estesa a questo argomento, mettono una distinzione fra l' energia elettrica di una pila, e la sua energia chimica di cui esporremo altrove gli effetti; e provano che queste non sono sempre nello stesso rapporto. Una pila di 80 coppie scompone gli alcali quando è caricata con un acido, mentre una pila di 600 coppie, caricata con dissoluzione salina, non produce gli effetti stessi, quantunque abbia una tensione tanto maggiore.

Gli autori hanno fatte moltissime esperienze per misurare l'energia chimica della pila, giudicandone dalla quantità di gas ottenuto in un dato tempo per mezzo della scomposizione dell'acqua: ed hanno trovato che essa dipende dalla maggiore o minor facoltà conduttrice del liquido impiegato; che era maggiore con una mescolanza di acido e di sale che con un acido soltanto; e che in generale essa è proporzionata alla forza e alla quantità dell' acido.

Essi hanno fatto inoltre alcune altre esperienze, per determinare

(*a*) *Annal. de Chimie; Frimaire* An. X. p. 297 e seg.

gli effetti della pila, relativamente al numero e alla superficie dei dischi dei quali essa è composta; ed hanno trovato che questi effetti misurati dalla quantità di gas che si ottiene, non crescono nella stessa proporzione del numero dei dischi, ma sono quasi proporzionati alla radice cubica di questo numero; e di più che gli effetti di due pile composte di egual numero di dischi, son quasi proporzionati alla superficie delle medesime(*a*).

DELLE DIVERSE SOSTANZE CON CUI SI PUÒ FORMARE UNA PILA.

820. Fin qui abbiam considerata la pila come composta di tre sostanze con le quali si suol formare: ma dai tentativi che sono stati fatti per variare le combinazioni dei suoi elementi, son derivate conseguenze importantissime relative all' influenza che esercitano gli uni sugli altri i varii corpi con i quali si può formare questo strumento.

821. Due metalli qualunque, posti a contatto, si elettrizzano, come già dicemmo (§. 785), in due modi opposti: ma Volta ha scoperto che in questi stati, paragonati fra loro in varii metalli, si osserva una gradazione che merita di esser considerata. Se si forma una scala in questo modo, argento, rame, ferro, stagno, piombo, zinco, lo stato di ognuno di questi metalli differirà in più da quello del metallo precedente, che si suppone a contatto con essa, e in meno da quello del metallo susseguente. Ora la legge a cui è soggetta questa gradazione è tale, che la differenza di stato fra il primo e l' ultimo metallo è eguale alla somma di tutte le differenze, andando da un metallo all' altro (*b*).

Per fissare le nostre idee rappresentiamo con 1 la differenza di stato fra l'argento e il rame nel caso di contatto; con 2 quella fra il rame e il ferro; con 3 quella fra il ferro e lo stagno; con 1 quella fra lo stagno e il piombo, e con 5 quelle fra il piombo e lo zinco: se supponiamo una piccola pila formata di questi 6 metalli posti in questo ordine, e che sia in comunicazione col terreno, poichè lo stato dell' argento è zero, quello del rame sarà 1, quello del ferro 3, quello dello stagno 6, quello del piombo 7, e quello dello zinco 12. La differenza di stato fra i due estremi argento e zinco, sarà dunque 12—0, ossia 12, quantità che è uguale alla somma delle differenze 1, 2, 3, 1, 5 fra gli stati consecutivi dei sei metalli.

Quindi è che una pila di qualunque altezza, in ciascun elemento della quale si osservi questa serie di metalli, non produrrà maggior effetto di quello che produrrebbe se fosse composta soltanto dei due metalli estremi uniti a coppie; ma bisognerebbe però verificare con esatte esperienze il resultamento da cui Volta dedusse questa conseguenza.

822. Abbiamo supposto che i corpi inzuppati di acqua dei quali è composta la pila, non facessero altro uffizio che di conduttori; ma è però molto probabile che contribuiscano ancora alla produzione dell' elettri-

(*a*) *Recherches Physico-Chimiques sur la Pile*, Paris, 1811.
(*b*) *Annal. de Chimie; Frimaire* An X, p. 251.

cismo, quantunque sembri che quest' azione sia debolissima in paragone di quella che esercitano i metalli fra loro. Nel cercare se la pila poteva costruirsi con altre sostanze, Volta ha trovato che in vece dei metalli ordinarii, poteva farsi uso della pirite e del carbone di legno (*a*): e Gautherot ha ottenuti simili effetti, servendosi di quest' ultima sostanza in vece del rame, ed ha costruito alcune pile nelle quali uno degli agenti era pure il carbone di legno, e l'altro lo schisto volgarmente detto *schisto scrittorio* ossia *matita nera* (*b*). Davy ha combinato con buon esito le azioni del carbone, dell' acido nitrico e dell' acqua, e Pfaff quelle di un metallo, dell' acqua e di un solfuro (*c*).

823. In conseguenza di queste osservazioni e di altre dello stesso genere, sembra che fra i corpi umidi e i corpi solidi esista una certa correlazione, la quale tenda a far variare, secondo le circostanze, le funzioni di questi corpi; dimanierachè una sostanza umida, la quale in qualche combinazione faceva le parti di conduttore, esercitando in un' altra combinazione un' azione distintissima sopra uno dei corpi solidi a contatto con essa, si associa a questo corpo per produrre la virtù elettrica, e riduce l' altro corpo, che ha un' azione molto più debole, a non essere altro che un semplice mezzo di comunicazione, relativamente all' elettricismo.

Apparecchio a rame doppio.

824. La pila inventata dal dotto inglese Accum, che passiamo ora a descrivere, fu accolta con trasporto dai fisici, poichè presentando essa grandi superficie all' elettricismo che si va sviluppando, può esercitare un' azione molto potente ancora con piccol numero di coppie metalliche. Quella di cui ci serviamo noi è composta di sei di queste coppie (*fig.* 106), suspese a una verga di legno *ac*, retta da due sostegni x, x', dai quali peraltro possiamo rimuoverla a piacere, per introdurla con le sue estremità nelle incavature dei medesimi, e farla scendere finchè le coppie, metalliche sieno immerse nel liquido preparato nei vasi b^1, b^2, b^3, posti a una giusta distanza sulla tavola che serve di base all' apparecchio.

Queste coppie son formate in modo che ogni lastra quadra di zinco z^1, z^2, z^3, ec. è situata alla distanza di circa 6 millimetri ossia linee $2\frac{1}{3}$ fra due lastre di rame r^1, r^2, r^3, di egual figura, ma più sottili di quelle di zinco. Ciascuna lastra di rame ha i suoi orli superiore e inferiore prolungati e ripiegati uno verso l' altro, in modo che si uniscono in forma d' arco, sicchè le due lastre di rame formano una continuazione; e la lastra di zinco è tenuta fissa in alto e in basso nei due pezzi di legno tagliati ad arco, inserendosi nelle curvature delle lastre di rame.

(*a*) *Annal. de Chimie*; 30 *Frimaire*, An. X, p. 252.
(*b*) *Histoire du Galvanisme*, t. II. p. 208.
(*c*) *Bulletin des Sciences de la Soc. Philomat.*; *Nivose*, An. X, p. 87.

Per determinare l'azione scambievole dei due metalli, in vece di metterli a contatto con una delle facce, si mettono in comunicazione per mezzo d'un arco metallico *lrk*, saldato con un' estremità all'orlo superiore della lastra di zinco z_1, e con l'altra a un punto *k* della superficie della lastra di rame r_2 che appartiene alla coppia vicina. Le parti medie di questi archi che sono piane, sono a contatto con la verga di legno, alla quale son sospese le coppie metalliche. Gli archi attaccati alle due lastre estreme una di rame r_1, e l'altra di zinco z_2, son ripiegati in alto, passano a traverso della verga di legno, e terminano sopra quella con due piccoli cilindri *d*, d_1 a cui son attaccati i due fili metallici, fra i quali si pone il corpo che si vuol esporre all'azione della corrente elettrica.

Quando si vuol far l'esperienza, si calano le coppie metalliche, nel modo sopra indicato, fin nell'interno dei vasi preparati e pieni di acqua mescolata con $\frac{1}{50}$ d'acido solforico: quest' acqua si introduce negl' interstizii fra le lastre di zinco e quelle di rame, ove essa fa le veci dei conduttori umidi posti alternativamente fra i dischi della pila di Volta.

Da che è stato conosciuto l'apparecchio a doppio rame, è stato preferito a tutti gli altri apparecchi di questo genere, fra i quali citeremo soltanto quello che si chiama *pila a tazze*. Le lastre metalliche di zinco e di rame di cui è composta questa pila, son saldate con una faccia l'una all'altra; e le coppie così composte son messe orizzontalmente e parallelamente l'une all'altre dentro una tinozza, posata sopra corpi isolatori. In questa costruzione gli intervalli che restano fra loro si chiudono da tutte le parti, fuorchè in alto in modo da ridurli a piccole tazze, due pareti delle quali son formate dalle facce esterne di due coppie vicine, e in queste tazze si versa l'acqua acidula destinata a servire da conduttore(60).

(60) Più comoda ancora è la formazione d'una pila a grandi cassette, oltre essere più energica nei suoi effetti. Quella di cui mi servo io è composta di 4 cassette di rame e 4 lastre di zinco, ed ha una superficie di 12mila pol. quadri; e nelle prime esperienze fatte insieme col Prof. Gazzeri alla presenza di varii amici, fu capace di fondere un filo di ferro di 1 $\frac{1}{2}$ lin. di diametro. In una specie di telaio, composto d'una base e di quattro o più colonnette o correnti ritti, si collocano verticalmente le cassette di rame, isolate fra loro per mezzo di zoccoli di cristallo: in queste si pongono le lastre di zinco, eguali ad esse in dimensioni, ciascuna involta in un panno, che servirà poi di corpo umido interposto; e si salda un piccolo cilindro scavato d'ottone sull'orlo di ciascuna cassetta e di ciascuna lastra. Quindi si lega bene stretto tutto l'apparecchio, e si empiono della dissoluzione acida le cassette, o tutte o parte, secondo che richiede la qualità dell' esperienza da farsi. Finalmente si mettono in comunicazione gli elementi della pila, per mezzo di archetti d'ottone incastrati nei suddetti cilindri; e in quelli della prima lastra e dell' ultima cassetta si incastrano due pinzette, nelle quali si fissano due fili metallici, che rappresenteranno i poli della pila. Nella costruzione delle pile di queste specie, bisogna escludere più che sia possibile la mescolanza di ferro, come chiodi, ec., per evitare ogni minima influenza sugli effetti magnetici.

825. Alcuni hanno tentato, col metodo di Volta, di costruire una pila d'una specie particolare, servendosi di corpi secchi in vece di conduttori umidi. Quella immaginata da Zamboni è composta di dischi di carta dorata o inargentata da una faccia, e coperta dall'altra di uno strato d'ossido di manganese in polvere. Gli effetti di queste pile son deboli, e sottoposti a intermittenze di molte ore, e quindi si presentano di nuovo, ma in fine spariscono totalmente, quantunque in alcune pile, per quanto si dice, abbiano continuato senza interruzione per molti anni.

Delle pile secondarie.

826. Tutte queste pile di cui abbiamo parlato fin qui, hanno per carattere distintivo il potere di sviluppare il fluido da cui dipendono gli effetti che esse producono. Richter servendosi di dischi di un solo metallo combinati con conduttori umidi, ha costruito certe pile chiamate *pile secondarie* o *pile da caricare*, le quali non avendo per se stesse veruna azione, come l'ha la pila di Volta, la ricevono da questa per mezzo del contatto. Per mettere in attività una di queste pile, si mettono le sue due estremità in comunicazione per alcuni minuti con quelle d'una pila ordinaria: la pila secondaria si trova allora elettrizzata in modo, che ognuno dei suoi due poli è nello stato medesimo in cui si trova il polo corrispondente della pila che ha servito per caricarla, e può servire in vece di questa per produrre effetti analoghi, come la scossa, le scintille e la scomposizione dell'acqua; ma presto si indebolisce in essa questa facoltà, e dopo pochi momenti sparisce affatto.

827. Il famoso inventore di questa nuova pila ne ha gradatamente modificata la costruzione, relativamente al numero e alla disposizione dei dischi di ciascuna specie. La costruì primieramente con trentadue dischi di rame ed altrettanti di cartone bagnato, formando tre serie, ognuna composta di dischi di una sola specie: i trentadue dischi di rame eran divisi in due parti eguali di sedici, e formavano le due serie estreme, e la serie intermedia era formata dei trentadue dischi di cartone: quindi l'autore toglieva dal suo posto qualcuno dei dischi di rame per alternare due dischi di cartone, finchè i dischi delle due specie si succedessero ad uno ad uno, principiando e terminando col rame, nel qual caso i dischi di cartone si riducevano a trentuno. In seguito l'autore stesso ha disposto nello stesso ordine sessantaquattro dischi di rame, quindi centoventotto, alternati con dischi di cartone.

828. Richter paragonò ciascuna volta i tre effetti principali della pila, cioè l'effetto chimico o la scomposizione dell'acqua, l'effetto fisiologico o la scossa, e l'effetto fisico ossia la tensione elettrica, e osservò che questi effetti non si accordavano mai fra loro, relativamente alla

variazione della propria intensità, tanto quando moltiplicava le interposizioni senza accrescere il numero dei dischi, quanto allorchè, stabilita l'alternativa fra quelli delle due specie, accresceva la lunghezza della pila In principio i tre effetti crescevano nel tempo stesso, ma l'effetto chimico fu il primo a indebolirsi, e dopo un certo termine sparì affatto: al di là di questo termine stesso, l'effetto fisiologico andò crescendo, scemando poi in seguito esso pure; e l'effetto fisico andò sempre crescendo.

829. Relativamente alla teoria, ci limiteremo a considerare soltanto l'ultima maniera di costruzione, nella quale i dischi delle due specie son disposti alternativamente, poichè è questo il limite a cui sempre più si avvicinano le altre disposizioni, a misura che si moltiplicano le interposizioni. È chiaro che l'azione della pila secondaria dipende generalmente dalla difficoltà che provano ad unirsi i due fluidi, di cui si son caricate le sue estremità nell'essere in comunicazione con la pila di Volta, perchè essi obbediscono all'attrazione loro scambievole. Nasce questa difficoltà, perchè la proprietà conduttrice dei dischi umidi è molto minore di quella dei dischi di rame; ma essa cresce ancora maggiormente, per motivo di una certa resistenza che le superficie piane delle due sostanze eterogenee oppongono alla trasmissione dei fluidi, nel punto in cui esse sono a contatto l'una con l'altra. Da ciò deriva nel moto dei medesimi fluidi una certa lentezza, che fa ritardare il momento in cui la loro unione fa sparire la virtù della pila.

Dunque ancora in mezzo a queste specie di pile si trova un punto o piuttosto un piccolo spazio che è neutro, e in generale la parte media tanto più si avvicina allo stato naturale, principalmente nei primi momenti, quanto più lunga è la pila. Dall'altra parte, poichè in questo medesimo caso i centri d'azione sono altresì più lontani, la scambievole forza repulsiva delle molecole del fluido situato verso ciascuna estremità è più energica, perchè è meno trattenuta dalla forza contraria esistente nell'estremità opposta; e da ciò si comprende perchè la tensione dei due fluidi misurata dall'elettrometro, cresce nei poli a misura che cresce la lunghezza della pila Non accade però lo stesso relativamente alla scossa, la quale passato un certo termine scema di forza: e per comprenderne la ragione basta considerare, che questo effetto dipende non solamente dalla tensione che ha luogo nelle estremità, e che cresce, come abbiamo detto, a misura che la pila divien più lunga, ma ancora dalla facilità con cui si eseguisce la scarica, e che è minore in una pila più lunga. Quindi se vi è un punto in cui l'ostacolo che deriva da quest'ultima causa sia predominante, la scossa diverrà più debole. In quanto poi all'effetto chimico, ossia alla scomposizione dell'acqua, per concepir

chiaramente le circostanze da cui dipende la sua massima energia, bisognerebbe avere una più esatta notizia di ciò che accade in questo medesimo effetto, lo che è la parte più oscura della teoria.

830. Prima che fosse inventato l'apparecchio di cui abbiamo parlato, si conoscevano varie esperienze fatte da altri fisici, i resultamenti delle quali hanno molta analogia con quelli della pila secondaria, dei quali ne citeremo uno solo di Volta. Avendo egli poste le due estremità di una striscia di carta inzuppata d'acqua pura, in comunicazione con le estremità di una pila ordinaria, osservò che ciascuna delle due sue metà si era elettrizzata come il polo corrispondente della pila, e che la densità elettrica scemava da una parte e dall'altra, avvicinandosi al mezzo della striscia, dove si trovava un punto neutro (*a*), la quale striscia è stata chiamata il *nastro di Volta*. Si vede chiaramente che la conservazione del doppio elettricismo di cui era dotata quella striscia, almeno per un momento, dipendeva dall'imperfezione della facoltà conduttrice tanto della carta quanto dell'acqua di cui era inzuppata. Si comprende del pari, che questo effetto potrebbe proporzionatamente accadere, ancora relativamente a certe sostanze più atte della carta e dell'acqua a trasmettere l'elettricismo; poichè siccome non esiste alcun corpo perfettamente conduttore, il corso dell'elettricismo lungo la superficie è sempre più o meno progressivo; e così, per quanto sia leggiera la resistenza opposta dal corpo al moto dei fluidi elettrici, questi possono nondimeno essere così poco densi, che questa resistenza divenga capace di mettere in contrasto la tendenza loro ad unirsi, e di ritardare per un certo tempo il ritorno del corpo allo stato naturale.

Delle sostanze le quali, relativamente all'elettricismo galvanico, hanno una facoltà conduttrice particolare.

831. I migliori conduttori dell'elettricismo ordinario, come i metalli, son pure i migliori conduttori dell'elettricismo galvanico; e i migliori isolatori degli effetti del primo sono pur tali relativamente al secondo: inoltre ciascuno di questi corpi è costante nella sua azione, nè v'è circostanza in cui se ne vegga uno passare a un tratto da una proprietà alla proprietà opposta.

832. Fra questi due estremi ve ne sono moltissimi di intermedii, i quali essendo più debolmente dotati della facoltà o conduttrice o isolatrice dell'elettricismo, la manifestano del pari senza alcuna diversità nei fenomeni relativi alle due specie d'elettricismo: tali fra gli altri sono gli organi degli animali.

(*a*) Veggasi l'eccellente esposizione fatta da Hallé delle principali esperienze di Volta: *Bulletin des Sciences de la Société Philom, Nivose*, an. X, n.°58.

Ma fra i termini di questa serie, il famoso Erman ne ha scoperti alcuni singolarissimi, le proprietà dei quali, sempre uniformi nelle esperienze elettriche ordinarie, in quelle che si riferiscono al galvanismo son soggette a variazioni inaspettate, dimanierachè un corpo stesso trasmette o trattiene l'azione elettrica, secondo le circostanze in cui si trova.

833. Le sostanze che mostrano queste specie d'eccezione alle leggi finor conosciute della comunicazione dell'elettricismo, si suddividono in due classi distinte fra loro per la diversità dei fenomeni: per esempio è della prima classe le fiamma dell'alcool, e della seconda il sapone alcalino asciuttissimo. Descriveremo le esperienze fatte da Erman su queste due sostanze, ripetute poi in gran parte da noi stessi nel ricco gabinetto di fisica di Tremery, che ha concorso egli pure con i suoi lumi al successo di queste operazioni.

834. Si mette un elettrometro sensibilissimo a foglie d'oro a contatto con un polo d'una pila isolata, e quando queste foglie sono arrivate al grado di divergenza che corrisponde alla tensione del fluido, si introduce nella fiamma d'una lucerna a alcool un filo metallico, che comunichi col polo opposto a quello che tocca l'elettrometro, e un altro che comunichi col terreno; e subito l'elettrometro acquista un aumento di divergenza tanto notabile, quanto nel caso in cui, stabilita la comunicazione col terreno per mezzo d'un conduttore metallico non interrotto, lo zero che fin allora si trovava nel mezzo della pila, passa nel polo con cui è a contatto questo conduttore (§. 797).

Attaccato un elettrometro a ciascun polo della pila sempre isolata, si facciano partire da questi medesimi poli due fili metallici, e si avvicinino finchè entrino nella fiamma dell'alcool. L'apparecchio si dispone in maniera, che tanto i fili metallici quanto l'alcool sieno isolati come la pila. Finchè sussiste questo isolamento, gli elettrometri divergono quasi come quando non esistevano nè i fili metallici nè la fiamma: ma se si immerge nella fiamma un altro filo metallico che comunichi nel tempo stesso col terreno, subito il polo vitreo è scaricato, ossia lo zero si trova in questo polo, e divien massima la divergenza dell'elettrometro applicato al polo resinoso.

835. Così quando la fiamma è in comunicazione con un polo soltanto, qualunque esso sia, e nel tempo stesso è in comunicazione col terreno, essa opera come corpo conduttore: se è in comunicazione contemporaneamente con i due poli, restando isolata, opera come corpo non conduttore: finalmente, se essendo in comunicazione con i due poli, comunichi nel tempo stesso col terreno, in tal caso fa le veci di corpo isolatore, relativamente all'effetto del polo resinoso della pila, e di corpo

conduttore relativamente all'effetto del polo vitreo; e così vediamo con doppia maraviglia questa fiamma passare da un estremo all'altro, e divenire un punto di riunione per i due estremi. Per quanto Erman abbia variato queste esperienze, ha trovati sempre confermati questi fenomeni.

836. Se si sostituisca alla fiamma d'alcool un prisma di sapone alcalino asciuttissimo, accadono gli stessi effetti; se non che l'ultimo presenta l'inverso di quello che accadeva nelle esperienze precedenti. Mettendo un'estremità di questo prisma a contatto con uno qualunque dei poli della pila, mentre una catena o una verga metallica scende dall'altra estremità fino in terra, il prisma propaga l'elettricismo del polo che gli è contiguo. Se nelle sue estremità si introducano alcuni fili metallici che partano dai due poli della pila, e si lasci tutto isolato, l'azione di questi poli è quale sarebbe senza l'intervento del sapone Ma in questo stato di cose, se si apra una comunicazione fra qualunque punto del prisma di sapone e il serbatoio comune, subito si scarica il polo resinoso, e divien massima la tensione del polo vitreo. Il qual effetto è stato ottenuto da noi, prendendo ancora il punto di comunicazione del sapone col terreno, a una piccolissima distanza dall'estremità in cui era immerso il filo metallico che partiva dal polo vitreo, cioè da quello l'azione del quale restava isolata.

Erman ha ravvisate le stesse proprietà nella fiamma del fosforo, e gli è sembrato ancora di vederle in qualche altra sostanza, come la gelatina alquanto disseccata, e l'avorio: ma masse diverse di queste ultime sostanze non avendo prodotto che effetti equivoci, egli non crede per ora di dover giudicare analogo il sapone al fosforo.

837. L'autore prendendo a considerare nuovamente le diverse maniere di operare dei corpi che posson mettersi in comunicazione con i poli della pila, ha stabilito una distribuzione metodica di questi corpi, secondo le proprietà loro distintive, con una nomenclatura adattata ad indicarli con espressioni semplici e precise.

E primieramente divide questi corpi in due grandi serie, una delle quali comprende tutti i corpi *isolatori*, che non esercitano verun'azione conduttrice, tanto se con una, quanto con ambedue le estremità loro sieno in comunicazione coi poli della pila. Di questa specie sono i corpi resinosi ed il vetro. La seconda serie è composta dei corpi *conduttori*, che si suddividono in *conduttori perfetti* e in *conduttori imperfetti*: i primi, come i metalli, sono egualmente capaci di scaricare ciascun polo in particolare, e di stabilire una rapida circolazione da un polo all'altro; e i conduttori imperfetti i quali non hanno che un'azione debole o semplicemente parziale, sono o *bipolari* o *unipolari*. L'autore chiama *bipolari* quelli che mentre servono ad aprire una circolazione da un polo all'al-

tro, hanno le due loro metà in due stati opposti: tali sono l'acqua comune e alcuni corpi inzuppati di questo liquido (*a*): i conduttori *unipolari* son quelli che messi in comunicazione coi poli della pila e col terreno nel tempo stesso, conducono l'elettricismo d'un polo soltanto, e sono *unipolari positivi* o *unipolari negativi*, secondo che scaricano il polo vitreo o il polo resinoso. Si vedrà a un colpo d'occhio questa distribuzione per mezzo della tavola seguente.

CORPI { *isolatori*
{ *conduttori* { *perfetti*
{ *imperfetti* { *bipolari*
{ *unipolari* { *positivi*
{ *negativi*

838. Meritano di esser considerate attentamente le proprietà dei corpi che hanno dato luogo alla scoperta di Erman, tanto per la differenza d'azione che si osserva in ciascuno di questi corpi, paragonato con se stesso, nelle esperienze relative all'elettricismo ordinario ed all'elettricismo galvanico, quanto per la differenza che presentano questi corpi stessi, paragonati con gli altri conduttori dell'elettricismo.

Se per esempio si mette un'estremità del prisma di sapone a contatto col bottone o uncino della boccia di Leida elettrizzata, e l'altra estremità con l'armatura esterna, si uniranno i due fluidi, e la boccia si scaricherà, quantunque imperfettamente (*b*), tanto se si lasci isolato il sapone, quanto se si metta in comunicazione col terreno; il qual effetto è diverso da quello prodotto dal sapone sulla pila. Ma quantunque non sappiamo ancora precisamente da che dipenda questa differenza, non ci maraviglieremo però meno nel considerare, che esiste pure una differenza notabile fra la maniera con cui si carica l'uno o l'altro strumento, come fra le circostanze che ne accompagnano la scarica coi mezzi ordinarii

839. Ma la scoperta di Erman è tanto più singolare, perchè presenta una linea di separazione assoluta fra i corpi sperimentati da lui, e quelli sperimentati prima dagli altri fisici. Fra questi corpi alcuni come il vetro si oppongono in qualunque circostanza alla trasmissione dell'elettricismo; altri come i metalli lo trasmettono in tutte le maniere. Al contrario, relativamente al sapone ed alla fiamma d'alcool, pare che la facoltà di trasmettere l'elettricismo vitreo e quella di trasmettere l'elettricismo resinoso, non possano sussistere che solitariamente, e sieno incompati-

(*a*) Abbiamo già parlato degli effetti di queste specie di conduttori, trattando delle *pile secondarie* (§. 830).

(*b*) Se in questa esperienza si tenga il sapone fra le dita, si sente una piccola scossa, lo che prova che gli organi son conduttori migliori del sapone.

bili. Così quando il corpo è in comunicazione con un solo vertice della pila, si esercita liberamente quella facoltà che è relativa alla situazione di questo corpo; quando poi il corpo isolato è in comunicazione con i due poli della pila, appariscono nel tempo stesso i due elettricismi, le facoltà conduttrici, le quali non potrebbero esercitarsi che unitamente, sono senza effetto, e la pila resta nel medesimo stato. Ma se si apra un adito all'escita dell'elettricismo, stabilendo una comunicazione fra il corpo e il terreno, allora non v'è nulla che impedisca che una delle due facoltà conduttrici possa esercitarsi indipendentemente dall'altra, e ora apparisce quella dell'elettricismo vitreo, ora quella del resinoso.

Per altro, questa non è che una maniera di osservare i fatti, adattata a farci meglio rilevare sotto qual aspetto ce li presenta l'esperienza; ma soltanto dopo averne studiate e nuovamente osservate tutte le circostanze, potrà darsene la vera teoria, e potranno svelarsi i rapporti che li collegano con gli altri fatti, in mezzo ai contrasti che sembrano formare con essi.

Dei pesci elettrici.

840. Da molto tempo era nota la proprietà che ha un certo pesce del genere delle razze, di intormentire o intorpidire le membra di chi lo tocca, per la qual cosa fu chiamato *torpedine*. Mentre ai primi osservatori riusciva difficile il determinare la causa dell'effetto espresso da questa parola, gli Arabi quasi per istinto avevan trovata una denominazione più saggia e più vera, e chiamavano questo pesce *raad* o *raasch*, parola che nel linguaggio di quei popoli significa *tuono*

841. L'organo di cui si serve la torpedine per intormentire, è composto di un gran numero di tubi aponevrotici di forma esagona, e qualche volta pentagona, situati parallelamente fra loro intorno alle branchie, e che hanno un'estremità adiacente alla pelle superiore, e l'altra alla pelle inferiore; le quali estremità sono in tutti questi tubi esattamente chiuse da una membrana aponevrotica, che si estende da ciascun lato su tutta la superficie dell'organo. Inoltre a traverso di ciascun tubo passano orizzontalmente piccole foglie aponevrotiche, situate l'una sopra l'altra a piccole distanze, dimanierachè il tubo può riguardarsi come una unione di piccole cellette soprapposte. L'interno di esse è pieno d'una sostanza, la quale, secondo le esperienze di Geoffroy è composta di albumina e di gelatina (*a*). Finalmente tutto questo apparecchio è

(*a*) Vedasi la minuta descrizione della torpedine e di altri pesci dotati della stessa proprietà, che questo dotto naturalista ne ha data nel quinto fascicolo degli Annali del Museo di Storia naturale, p. 392 e seg.

corredato di nervi voluminosissimi che si inseriscono nei tubi, dentro ai quali poi si diramano.

842. Réaumur ha osservato che quando la torpedine voleva mettere in attività questo suo organo, cominciava dallo scemare insensibilmente la curva del suo dorso che si spianava, e talvolta ancora diventava concavo, e quindi lo alzava nuovamente con un moto istantaneo con cui tornava di figura convessa (*a*). Se in questo momento qualcuno toccava la torpedine con un dito, provava una sensazione simile a un intormentimento.

843. Alcuni fra i fisici hanno attribuito questo fenomeno all'emissione di un'infinità di piccoli corpi che escivano continuamente dalla torpedine, ma in maggior numero in certe circostanze, e che insinuandosi nelle membra le intormentivano, o per l'eccessivo lor numero, o perchè trovavano nelle membra stesse strade poco adattate alla propria loro figura. Altri pensavano che l'azione della torpedine consistesse in una scossa particolare che essa imprimeva nei nervi, e da cui derivava una sensazione dispiacevole, che intormentiva le membra in cui veniva prodotta.

844. Una nuova opinione non meglio fondata delle precedenti, ma più meritevole d'esser confutata, è quella di Schilling, che aveva creduto di ravvisare sensibilissimi effetti magnetici nell'anguilla di Surinam, la quale ha, come è noto, la stessa proprietà della torpedine. Diceva egli dunque che l'anguilla posta vicina a una calamita era attratta da questa, e vi restava attaccata in modo che difficilmente se ne poteva staccare; e dopo staccata era così languida che poteva toccarsi impunemente: inoltre la calamita che aveva servito all'esperienza pareva coperta di particelle di ferro; e gettando poi un poco di limatura di ferro nell'acqua in cui era immersa l'anguilla, questa si rianimava ed acquistava nuova forza (*b*).

Tali asserzioni sono state distrutte interamente da molti fisici famosi, e specialmente da Ingenhousz e da Spallanzani, i quali avendo diligentemente ripetute le esperienze indicate da Schilling, non hanno veduto mai che la calamita esercitasse la minima azione sull'anguilla (*c*). Hahn, professore di medicina a Leida, il quale ha discussa con molta dottrina l'opinione di Schilling, osserva che i fiumi d'America nei quali si trova l'anguilla di Surinam, portano molta sabbia magnetica, e pre-

(*a*) *Mem. de l'Acad. des Scienc.* An. 1714.

(*b*) G. W. Schilling, *diatriba de morbo in Europa pene ignoto*, Jaws dicto 1770.

(*c*) *Recueil de Mem. sur l'Analogie de l'Electricité et du Magnetisme par* H. Van-Swinden, 1784, 1, p. 439, e seg.

sume che essendosi attaccati alcuni grani di questa sabbia alla pelle viscosa del pesce, che probabilmente ne era totalmente coperto quando Schilling faceva l'esperienza, sieno stati la causa della sua illusione (*a*).

845. Il dottore Bancroft è forse il primo che abbia sospettato esistere una certa analogia fra i fenomeni della torpedine e quelli prodotti dall'elettricismo. Walsh volendo verificare questa congettura fece molte esperienze, col fine di scoprire se la torpedine possa produrre gli stessi effetti della boccia di Leida caricata. Pose dunque uno di questi pesci, estratto da poco tempo dall'acqua, sopra una tavola su cui era una salvietta bagnata. Con due fili di seta furon sospesi due fili curvi d'ottone per il loro mezzo, uno dei quali toccava con un'estremità la salvietta bagnata, e con l'altra era immerso in un vaso pieno d'acqua posto sopra un'altra tavola, sulla quale erau pure altri quattro simili vasi; e l'altro filo metallico scendeva con una delle sue estremità nell'acqua dell'ultimo vaso. Cinque persone erano disposte intorno a questa seconda tavola: la prima immergeva un dito di una mano nel vaso in cui era il filo d'ottone in comunicazione con la salvietta bagnata, e un dito dell'altra mano nel vaso seguente: la seconda immergeva un dito di una mano in questo medesimo vaso, e un dito dell'altra in quello accanto, e così di seguito, finchè le cinque persone fossero tutte in comunicazione fra loro per mezzo dell'acqua contenuta nei cinque vasi. Walsh avendo preso il secondo filo d'ottone per l'estremità situata fuori dell'acqua, toccò con questa estremità il dorso della torpedine, e nel momento stesso le cinque persone provarono una scossa simile, per quanto dissero, a quella prodotta dalla boccia di Leida, se non che un poco più debole. Walsh che non era compreso nella catena, e che soltanto aveva tenuto l'eccitatore, non ricevette veruna impressione. Questa esperienza fu ripetuta più volte, e perfino con otto persone, e sempre con egual successo. Fu osservato che ogni sforzo che la torpedine faceva per dare la scossa, era accompagnato da una depressione d'occhi, la quale faceva egualmente conoscere i suoi tentativi per produrre lo stesso effetto sopra corpi non organizzati.

846. La stessa proprietà è stata trovata in molti altri pesci, fra i quali i più noti sono quest'*anguilla elettrica di Surinam*, di cui abbiamo parlato, conosciuta ancora sotto il nome di *gymnoto che intormentisce*. §.844.(59), e il *siluro tremante*; dal che si vede che la proprietà

(*a*) Van-Swinden. *Ibid.* p. 438.

(59) Il *gymnotus electricus*, che molto comunemente si trova nei fiumi di Surinam e del Senegal, suol esser lungo circa 3 piedi, ma qualche volta ne sono stati trovati fino di 20 piedi; e quando è così lungo, ha tanto potere elettrico da uccidere un uomo (*Trans. Philos.*, vol. LXV.). Ha un potere elettrico

elettrica, la quale forse sarebbe stata riguardata come indizio d'un rapporto generico fra gli animali che ne sono in qualche maniera dotati, non è che una qualità specifica, la quale forma come altrettante somiglianze tra famiglie che pur son distintissime fra loro. E in ciò accade quasi come nei minerali, nei quali la proprietà di elettrizzarsi per via di calore è dispersa per così dire nelle specie di diverse nature.

Nei pesci elettrici diversi dalla torpedine, si trova un organo analogo all'organo di essa, che è un'unione di celluline composte di piccole foglie aponevrotiche intralciate fra loro, e nell'interno piene di albumina e di gelatina: ma la forma e la situazione di questo organo variano al variar delle specie.

847. Walsh, nel ripetere le esperienze della torpedine sul gymnoto che intormentisce, il quale ha una virtù elettrica molto più energica, si confermò nell'opinione, che è veramente l'elettricismo la causa di questo genere di fenomeni Applicò sopra un pezzo di vetro una foglia di stagno, nella quale aveva lasciato una piccola separazione, e ne mise i due orli opposti in comunicazione con i corpi a traverso dei quali passava la scarica del pesce. Nel momento della scarica si vedeva distintamente comparire una scintilla che passava liberamente a traverso del piccolo intervallo lasciato nella foglia di stagno; ma bisognava però che il pesce fosse esposto all'aria libera; e facendo l'esperienza nell'acqua, non appariva veruna scintilla (*a*).

848. Gli effetti dei pesci elettrici eran o stati conosciuti da gran tempo dai pescatori, fra i quali, secondo ciò che riferisce il Redi, era opinion generale, che la proprietà della torpedine si comunicasse alla mano e al braccio di chi la pescava, per mezzo del filo e del bastone al quale essa restava sospesa (*b*). I pesci dotati di questa facoltà se ne servono come d'un'arme invisibile, per trasmettere a traverso dell'acqua una violenta scossa ai pesci di una specie diversa, che essi fanno poi loro preda dopo averli così sbalorditi.

849. Termineremo questo articolo con qualche osservazione particolare sulla teoria, per mezzo della quale i Fisici han tentato di riunire questi fenomeni alla classe di quelli dell'elettricismo ordinario. Quantunque Walsh abbia tentato inutilmente d'ottenere qualche attrazione

molto superiore a quello della torpedine; e Humboldt nella relazione dal uso viaggio nelle regioni equinoziali del nuovo continente, afferma aver ricevuto da questo pesce scosse molto più forti che da una gran boccia di Leida, e che perfino i cavalli investiti da tali scosse divengon tremanti, e cadono qualche volta nell'acqua.

(*a*) *Philosophic. Transact.* t. L. III., p. 461, et t. LXIV. p. 465.

(*b*) *Experimenta circa res diversas naturales.*

e repulsione fra palline di midollo di zambuco, sospese a fili che comunicavano con la torpedine, nondimeno riguardava questo pesce come una specie di strumento elettrico animato, e aveva procurato di spiegare le differenze le quali modificavano i rapporti che esso aveva con la boccia di Leida. Osservava dunque che la stessa quantità di fluido elettrico, il quale concentrato in questa boccia era capace di produrre gli effetti noti a tutti i fisici, non avrebbe più la stessa attività, se venisse rarefatta e distribuita fra molti bicchieri, l'armatura dei quali presentasse una superficie quattrocento volte maggiore di quella della boccia, poichè in tal caso non accaderebbe più veruna attrazione o repulsione sensibile; mentre lo stesso fluido in tal modo dilatato, sarebbe tuttavia capace di far provare una scossa nel momento della scarica dell'apparecchio. E in tal modo appunto si faceva tal distribuzione nella torpedine, nella quale il fluido elettrico era sparso e rarefatto sulla somma di tutte le superficie dei prismi, che formano l'organo di questo pesce. Nulla di più ammissibile poteva in quell'epoca suggerire la teoria; e ciò che è più singolare si è, che quelli osservatori non esitavano punto a far dipendere dall'elettricismo quei fenomeni, i quali in realtà non son altro che un resultamento di quella medesima azione galvanica, la quale poi ha fatto nascere numerose discussioni fra i fisici di diverse nazioni, sulla vera natura del fluido che la produce.

850 I Fisici posteriori a Walsh hanno proseguito a paragonare le scosse prodotte dalla torpedine con quelle prodotte dalla boccia di Leida; ma dopo le scoperte di Volta il vero termine di comparazione deve esser la pila. Questo famoso fisico presume, che fra le sostanze umide di cui è composto l'organo della torpedine, alcune son adattate a eccitare la virtù elettrica col contatto loro scambievole, e altre a trasmetterla; sicchè la soprapposizione dei diversi strati formati di queste sostanze, è analoga a quella dei metalli e dei conduttori inzuppati d'acqua, che si alternano nella pila (*a*). L'esatta determinazione di queste medesime sostanze e delle loro funzioni è il soggetto d'un importante problema, la soluzione del quale, riserbata agli sforzi riuniti della Fisica e della Zoologia, sarà un nuovo argomento per provare che le scienze, dirette a un sol fine, si prestano uno scambievol soccorso.

(*a*) *Annales de Chimie*; 30. *Frimaire*, an X. p. 255.

Degli Effetti chimici dell' Elettricismo Galvanico.

SCOMPOSIZIONE DELL' ACQUA.

851. Due dotti inglesi, Carlisle e Nicholson, avendo immerso nell'acqua due fili metallici, uno in comunicazione col disco superiore della pila ordinaria, l'altro col disco inferiore, si accorsero che alle estremità di essi si sviluppavano due gas, che riconobbero esser gli stessi che entrano nella composizione dell'acqua (*a*). Questa esperienza si suol fare con un tubo ricurvo pieno d'acqua fino ad una certa altezza, e chiuso alle estremità con due sugheri, a traverso dei quali passano i due fili metallici, che son immersi nell'acqua in modo da lasciare un piccolo intervallo fra le loro estremità. Comparisce l'ossigene in forma di bolle all'estremità del filo che è in comunicazione col disco di zinco, il quale produce l'elettricismo vitreo, e l'idrogene si sprigiona in egual forma all'estremità del filo a contatto col disco di rame, che forma la base della pila, il quale dà l'elettricismo resinoso. Se i metalli sono ossidabili, sono scarsissime le bolle che si alzano all'estremità del filo, il quale corrisponde al disco di zinco, perchè l'ossigene si fissa su questo filo, facendolo passare allo stato di ossido.

852. Questo nuovo fenomeno richiamò ben presto l'attenzione dei Fisici, e dei Chimici specialmente, i quali vedevano in esso un problema da sciogliersi molto delicato, per conciliarlo con la teoria relativa alla natura dell'acqua. Cercarono primieramente se l'ossigene e l'idrogene derivavano dalla stessa molecola d'acqua o da due molecole distinte. Frattanto avevano osservato, che immergendo i due fili in due vasi separati, non si sviluppava alcun gas; ma ciò poteva derivare dall'essere interrotta quella comunicazione che è necessaria perchè si scarichi la pila; e Davy trovò un mezzo semplicissimo per provare, che era appunto questa interruzione la vera causa per cui i gas non si sprigionavano: e in fatti questi gas apparvero nuovamente, quando egli immerse due dita della stessa mano nei due vasi.

853. Qui si presentavano varie questioni. Può egli credersi che sia la stessa molecola dell'acqua che si scompone, quando esiste un intervallo notabile fra i gas che si sviluppano? e se tale scomposizione accade fra due molecole diverse, cosa diventa l'idrogene nel punto dove non si vede che ossigene, e cosa diventa l'ossigene nel punto in cui si presenta l'idrogene soltanto?

(*a*) *Bibl. Britan.* t. XV. p. 11.

854. La più natural soluzione che finora sia stata immaginata, è quella proposta da Monge e Berthollet (*a*), i quali son di parere che il fluido vitreo abbia la proprietà di fare sprigionare l'ossigene a preferenza dell'idrogene, e che accada l'opposto relativamente al fluido resinoso; e che dall'altra parte l'acqua, come tutte l'altre sostanze composte, abbia la proprietà di ricevere diverse quantità relative dei principii che concorrono alla sua formazione. Così l'acqua della rugiada è ossigenata, e appunto per questo contribuisce moltissimo all'imbianchimento dei fili e delle tele che si espongono all'aria: al contrario l'acqua stillata è idrogenata, e per ciò essa ha quel sapore particolare, che però possiamo farle perdere, agitandola moltissimo a contatto con l'aria Si può dunque supporre che nella citata esperienza l'acqua di ciascun vaso, o quella che è contenuta in ciascuna porzione di un medesimo tubo, conservi in eccesso quello fra i due gas che non apparisce presente.

855. Il fenomeno della scomposizione dell'acqua per mezzo dell'elettricismo galvanico, presentava un nuovo soggetto di paragone fra gli effetti di una macchina ordinaria e quelli della pila. Van-Marum ha ottenuto lo stesso fenomeno, facendo passare una forte scarica a traverso di un filo di ferro immerso nell'acqua (*b*): Wollaston ha ripetuto l'esperienza con un sottilissimo filo d'oro introdotto in un tubo capillare di vetro in modo, che la sua estremità, la quale era appena visibile, si trovava a livello con la superficie del tubo (*c*). Questo celebre Fisico, riducendo piccolissima la quantità di metallo sottoposta all'azione elettrica, è giunto a scomporre l'acqua con una successione di piccole scintille, che uscivano da un conduttore elettrizzato nella solita maniera. Quindi con esperienze dello stesso genere, ha tentato di produrre lo sviluppo dei due principii componenti l'acqua, per mezzo di due fili metallici immersi in questo liquido, alquanto distanti fra loro (61); ma dice d'aver osservato costantemente che ciascuno dei due

(*a*) *Statique chimique*, t. I, p. 216.

(*b*) *Annales de Chimie*, n.° 121, p. 77.

(*c*) *Bibl. Britan.*, t. XVIII. p. 33. e seg.

(61) Uno degli apparecchi di Wollaston è rappresentato dalla *fig. a'''* (Tav. VIII.): *e* e *b* sono i fili che dentro i tubi terminano a guisa di spazzole, a piccola distanza fra loro: il gas ossigene si attacca al filo metallico *e* che è in comunicazione col polo zinco, e l'idrogene sale nell'altro tubo; e quando se ne è sviluppata una certa quantità, si sperimenta aprendo la chiave *x*, fissata a questo fine all'estremità di essa. Ma così l'operazione è lenta, e non si può raccogliere che un solo gas.

Molto più comodo e più utile è l'apparecchio di Gay-Lussac e Thenard (*fig. a'*' Tav. VIII.) EE è un imbuto di vetro troncato, e chiuso esattamente per

fili dava nel tempo stesso e l'idrogene e l'ossigene, mentre l'azione della pila fa sì che essi compariscano separatamente. Bisogna però confessare, che finora da tutte queste esperienze non è resultata talmente chiara la teoria relativa a questi fenomeni, da non lasciar nulla da desiderare, e saranno necessarii nuovi fatti per poter interpetrare i primi (62).

la parte inferiore BB con sughero e cera lacca: a traverso del sughero si fanno passare due fili del metallo meno ossidabile, come oro o platino, distanti fra loro circa un centimetro, e che con le punte penetrano nell' imbuto per quattro o cinque centimetri sopra il fondo. Si empie d'acqua l'imbuto, e si coprono le punte con due piccole campanina di vetro *x*, *s*, piene esattamente d'acqua: tutto l'apparecchio si pone a incastro sopra un piede per sostegno. Appena si mettono le due estremità esteriori *m*, *n* dei fili in comunicazione con i poli di una pila a colonna, si sviluppano i due gas, che per la loro leggerezza si elevano in cima alle piccole campane, e si sviluppano in quantità proporzionata alla lunghezza, alla forza e alla durata d'azione della pila. Così, senza il minimo sospetto d'aria si posson raccogliere interamente i gas, esaminarli, ricomporli, ec.

(62) È ormai noto un fatto di questi desiderati dall'Autore, che può effettivamente servire da interpetre ai primi. Si voglia scomporre, per esempio, il solfato di potassa: si ponga questo sale in un vaso B, che resti in mezzo a due altri vasi simili A, C, (*fig.* a[v] Tav. VIII) contenenti una tintura azzurra vegetabile, e precisamente di quelle che hanno la proprietà di divenir rosse alla presenza d'un acido, e verdi alla presenza d'un alcali, e si metta in comunicazione il vaso B con gli altri due per mezzo di due archetti di cotone inumidito *m*, *m*; quindi coi filimetallici Z, R si mettano i vasi estremi in comunicazione con i due poli d'una pila. Compito così il circuito elettrico, il sale si scompone, il suo acido solforico passa nel vaso A che comunica col polo positivo, il che è indicato dall'arrossamento della tintura contenuta in esso; e il color verde che si osserva nella tintura del vaso C, che comunica col polo negativo, indica che qui è passato l'alcali del solfato di potassa scomposto.

Ora se la scomposizione dell'acqua nell'apparecchio di Thenard fosse effetto di attrazioni e repulsioni elettriche, come alcuni Fisici hanno creduto, pensando che l'ossigene, elettrizzato negativamente, sia attratto dal polo positivo zinco, e l'idrogene, elettrizzato positivamente, sia attratto dal polo negativo rame, perchè non dovrebbe, prima del sale, scomporsi la tintura che è immediatamente in comunicazione con i poli? Dunque bisogna convenire, 1.° che i poli non esercitano un'azione centrale, come quando la pila è isolata, relativamente a se stessa, ma che 2.° quando è compito il circuito, la forza della corrente basta a rompere, per così dire, una molecola, e scomporla nei suoi elementi, e quindi 3.° trasportare con se quegli elementi che per la loro tenuità posson passare a traverso degl' impercettibili interstizii d'un liquido; e che 4.° tutto questo non può accadere, se non dopo che l'arco di comunicazione è divenuto omogeneo. Quindi apparisce, che prima di tutto la soluzione ceda alla forza della corrente elettrica, e che le sue molecole saline passino per gli archi *m*, *m*, nei vasi A, C, e così rendano omogeneo tutto l'arco B Z, dopo di che, aperta così la strada a una pronta e sollecita circolazione, le mo-

856. Frattanto ricordiamoci che la pila, la quale fin ora non aveva fatto altro che imitare con la sua azione l'analisi chimica, ha poi servito nella scomposizione dell'acqua, fra le mani del famoso Davy, a formare i primi anelli di una catena di scoperte totalmente nuove, che si estende a una gran parte del regno minerale. Tutta l'Europa scienziata restò sorpresa egualmente che il Chimico inglese, quando nella famosa esperienza sulla potassa, posta nella corrente dell'elettricismo galvanico, questa sostanza mostrò per la prima volta la sua base ornata di splendore metallico, che l'ossigene aveva tenuta fin allora nascosta sotto un'apparenza terrea. La natura di questo trattato non ci permette di dare se non questa semplice indicazione di un tal fatto, ed appartiene alla Chimica l'esporre quell' importante scoperta, come pure tutte l'altre dello stesso genere che son derivate da essa, e i numerosi cambiamenti che esse hanno portato nella nomenclatura delle sostanze non organizzate.

Influenza dell' Azione chimica sugli Effetti della Pila.

Era già stato osservato, che quando i conduttori di cui è composta una pila erano inzuppati d'acqua pura soltanto, spesso accadeva che non trasmettevano l'elettricismo da una coppia all'altra con una rapidità sufficiente, per ristabilir prontamente l'equilibrio fra gli stati dei dischi contigui, a misura che il fluido stesso sviluppato nella pila ne esciva per portarsi sui corpi che si sottoponevano all'esperienza. Si evita questo inconveniente mescolando un acido, come il solforico o il nitrico, con l'acqua di cui si inzuppano i conduttori, col che l'azione della pila diventa continua e nel tempo stesso più energica.

Una tal mescolanza produce diversi effetti, come l'ossidazione dei metalli, la scomposizione dell'acqua, ec., dei quali è stata indicata la causa con la general denominazione di *azione chimica*. Per spiegare come queste sostanze mescolate con l'acqua giovano alla trasmissione dell'elettricismo da un metallo all'altro, sono state emesse due opinioni. Secondo la prima, tali sostanze son riguardate come semplici stimolanti o come una forza acceleratrice, per far muovere progressivamente e con più velocità le molecole elettriche: la seconda è fondata sopra un fatto annunziato per la prima volta da Biot e da Cuvier (Federigo), cioè che le molecole delle sostanze che hanno sofferta l'azione chimica, sono

lecole acide restino nel vaso A, e le alcaline come più leggiere sieno trasportate nel vaso C, producendo nell' uno e nell' altro le particolari alterazioni secondo la loro diversa natura.

come altrettanti conduttori, cioè hanno un moto di traslazione, per cui, passando a traverso dei conduttori umidi, vanno a depositare l'elettricismo di cui son carichi sui dischi metallici, ritardati nell'azione loro dall'imperfezione dei conduttori umidi, relativamente al ristabilimento dell'equilibrio; e in conseguenza della compensazione che ne resulta, l'effetto totale è lo stesso che nell'ipotesi di una facoltà perfettamente conduttrice. Si vede dunque che le due opinioni non differiscono in altro, se non nella maniera di spiegare l'azione di una causa, della quale sono incontrastabili i vantaggi (63).

(63) È degna di considerazione la reciproca azione della pila sull'ossigene, e dell'ossigene sulla pila, osservata per la prima volta da Biot e Cuvier. Accenneremo il fatto e la spiegazione del medesimo, rimettendo i giovani, che desiderano vederne tutte le particolarità, al trattato di Fis. di Biot, T. 2. p. 526.

1. Montata una pila nel modo ordinario, e messa in comunicazione con se stessa per mezzo di un filo metallico, si copra con un recipiente di nota capacità, (*fig.* a^{V}, Tav. VIII.), e si ponga il tutto sopra un vaso pieno d'acqua o di mercurio, per impedire l'introduzione di nuova aria. Finchè la pila prosegue la sua azione, assorbisce l'ossigene dell'aria del recipiente, come apparisce dall'innalzamento del liquido sottoposto. Cessato questo innalzamento, sperimentando l'aria residua o con un lume o col fosforo, si trova priva affatto d'ossigene.

2. Se si monti un'altra pila simile in modo da poterle somministrare nuova quantità d'ossigene, quando sembra finita la sua azione, quest'azione verrà ravvivata. A tal oggetto si ponga la pila montata in un cilindro AA (*ibid. fig.* a^{VI}), largo poco più del diametro dei dischi: si mettano in comunicazione con i due poli due fili metallici F,F, che prolungati escono fuori del cilindro, a traverso di due tubi di vetro T,T, o pieni di mercurio, o chiusi ermeticamente alle estremità esterne per impedire ogni comunicazione fra l'aria esterna e la pila: si copra con un recipiente di nota capacità l'apparecchio, e fuori del recipiente stesso si uniscano i fili in R: così la pila è in comunicazione con se stessa. Dopo un certo tempo, maggiore o minore secondo la forza della medesima, sperimentando fisicamente, fisiologicamente, o chimicamente, quando se ne trovi estinta l'azione, si introduca una nota quantità di gas ossigene nel recipiente; e subito la pila mostra nuovamente la sua azione sopra ogni genere di effetti. Ripetendo più volte la stessa operazione, si ottengono effetti eguali.

3. Ma finalmente nessuna quantità d'ossigene basta più a ravvivare l'azion della pila, che resta perfettamente inattiva.

Il *primo* fatto sembra spiegarsi per mezzo dell'affinità che i metalli hanno naturalmente per l'ossigene, la quale affinità oltre l'esser maggiore secondo la natura dei diversi metalli, cresce ancora in ragione di certe disposizioni in cui essi si trovano. Lo zinco è di natura sua più ossidabile del rame, in circostanze eguali; e in questo caso è ancora più disposto ad ossidarsi, in quanto che le sue molecole essendo in un certo stato di moto in virtù della materia elettrica che se ne sprigiona, lasciano più ampii interstizii all'introduzione dell'ossigene. E infatti, osservando dopo l'operazione i dischi della pila, lo zinco appunto si trova infinitamente più ossidato del rame.

Analogia fra l' Elettricismo Galvanico e l' Elettricismo ordinario.

857. Se riandiamo tutti i varii resultamenti esposti fin qui, scorgiamo dovunque una visibilissima analogia fra l'agente che li produce e il fluido elettrico. Fermiamoci primieramente ad osservare quei fenomeni in cui più spicca quest' analogia. Una boccia di Leida, messa a contatto con la pila, si carica e diventa capace di produrre la scossa, come se fosse stata a contatto col conduttore di una macchina ordinaria: la pila produce attrazioni e repulsioni simili a quelle dei corpi elettrizzati; e il fluido che parte da essa, raccolto in un condensatore, produce scintille all'avvicinarsi di un eccitatore. Fin qui la somiglianza degli effetti indica identità di cagioni. È vero che la sensazione che proviamo toccando le due estremità della pila, non è eguale a quella prodotta dalla boccia di Leida; ma ciò dipende dall' esser la prima modificata dal moto progressivo e continuo del fluido, il quale in vece di colpire gli organi con un solo urto, come nell'esperienza di Leida, li colpisce con molte piccole impressioni che si succedono rapidamente; e che sia effettivamente questo fluido che produce quest'azione nella pila, ne restiamo pienamente convinti, osservando che se esso passa nella boccia di Leida, solamente nel cambiar di vaso prende nuovamente tutti i suoi caratteri.

Nel *secondo* fatto l' ossigene accresce l' azione della pila, quando è indebolita, probabilmente perchè penetrando a traverso della sostanza del cartone umido, apre nuovi aditi al passaggio dell' elettricismo da un disco all' altro, secondo la legge scoperta dal Volta; e poichè è costante lo sprigionamento dell' elettricismo per via di contatto, se ne venga da una causa qualunque reso più facile il trasporto, l' azione deve diventare più energica; e questo è appunto il nostro caso.

Finalmente nel *terzo* fatto la cessazione dell' attività della pila può dipendere 1.° dal prosciugamento dei cartoni, e quindi dalla mancanza del miglior conduttore dell' elettricismo: 2.° dal trovarsi in conseguenza tanto ravvicinate le molecole, da impedire il passaggio all' ossigene stesso, che quindi formerà come una crosta sulla superficie dei dischi e dei cartoni, il che diventa un ostacolo insuperabile al passaggio del fluido elettrico; e 3.° finalmente può cessare quest' attività, perchè l' ossigene colla sua forza esercitata sullo zinco, ne ha decomposte alcune molecole, e in stato di ossido le ha trasportate seco fino a contatto col rame: così si è distrutta la montatura regolare dalla pila, perchè il rame si trova a contatto immediato con lo zinco da tutte e due le facce, cioè zinco metallico da una parte, e ossido di zinco dall' altra; il che viene indicato ancora da certe macchie bianche che si osservano dopo una lunga azione della pila sulle facce del rame, le quali macchie non son altro che zinco ridotto allo stato di ossido.

Digitized by Google

Abbiamo veduto che con egual facilità si spiegavano altre particolarità della pila, e singolarmente la facilità con cui entra in combustione un filo metallico posto a contatto con essa, mentre avendone giudicato dall'azione debolissima che essa esercita sull'elettrometro, non si sarebbe mai aspettato un sì energico effetto.

L'azione reciproca che esercitano fra loro gli altri corpi solidi, e perfino i nervi e i muscoli di un animale, è realmente eguale a quella che osserviamo fra i metalli; ed era inutile supporre un fluido particolare, per spiegare effetti che pur hanno tanta analogia con quelli prodotti dalle sostanze metalliche.

Questo confronto fra i due elettricismi sussiste egualmente rapporto ancora alla scomposizione dell'acqua; e se variano le circostanze che accompagnano questo fenomeno, secondo che ci serviamo o di una pila o d'una macchina ordinaria, la ragione di questa diversità si deduce dalla diversità stessa degli apparecchi. Dunque le nuove ricerche che restano a farsi tuttora, per togliere qualunque oscurità in questa parte della scienza, non potranno mai aver per effetto lo stabilire una distinzione essenziale fra l'elettricismo e il galvanismo, ma soltanto il conciliare l'elettricismo con se stesso.

Basti per ora questo parallelo, il quale però estenderemo ancor più, quando, secondo l'ordine delle materie, esporremo le singolari scoperte modernamente fatte in Danimarca; e fra i fenomeni a cui esse hanno dato origine, distingueremo quelli che fin d'ora possono stare a livello coi primi, da quelli che richiederanno nuove ricerche, per far ravvisare qui pure l'elettricismo negli effetti di un apparecchio, che sembra fatto espressamente per mostrarcelo sotto un aspetto nuovo ed inaspettato.

Digitized by Google

Digitized by Google

T A V O L A.

Delle gravità specifiche di alcune sostanze, esprimendo con 10000 quella dell' acqua.

Sostanze metalliche.	Gravità specifiche	Peso d' un piede cubo
		℔
Oro a 24 Kar. fuso e non lavorato . . .	192581	1348
— di un Luigi	181660	1271
— a 20 Kar. per oggetti di lusso lavorati .	157090	1100
Argento a 12 dan. fuso e non lavorato . .	104748	733
Platino nativo in grana	156017	1092
— — purificato fuso (*)	195000	1365
Rame fuso e passato alla filiera	88785	621
— — del Giappone	90000	630
Ottone	83958	588
Ferro fuso	72070	505
— — lavorato	77880	545
Acciaio nè temperato nè battuto	78331	548
Stagno di Carnouailles non battuto . .	72914	510
Piombo fuso	113523	794
Zinco fuso	71908	503
Antimonio fuso.	67021	469
Arsenico fuso	57633	403
Mercurio dolce	135681	950
Cinabro orientale	69022	422
Pietre preziose.		
Diamante orientale bianco.	35212	246, 5
— — — — — — color di rosa . . .	35310	247
— — — — — — verde	35238	246, 6
— — — — — — giallo.	35185	246, 3
Rubino orientale	42833	300
— — del Brasile.	35311	247
Topazio rosso d' Almaden	40106	281
— — — bianco di Sassonia.	35535	249
— — del Brasile.	35365	248
Girasole	40000	280
Granato di Boemia	41888	293
Smeraldo del Perù	27755	194
— — — del Brasile	31555	221

in circa

(*) Borda l' ha determinata 20,980.

	Gravità specifiche	Peso d'un piede cubo
Pietre silicee.		
Cristallo di Monte del Madagascar	26530	185
— — violetto o ametisto	26535	185, 1
Quarzo cristallizzato	26546	186
Pietra da lastricatori	24158	169
Agata orientale	25901	181
— — onice	26375	184
Calcedonio	26156	183
— — — idrofano	22950	161
Occhio di gatto	26573	186
Cornalina	26137	182
Pietra da fucile bionda	25941	181
— — nericcia	25817	180
Perla vergine orientale	26836	188
Diaspro verde chiaro	23587	165
— — bruno	26911	188
Pietre varie.		
Amianto lungo	9088	64
— — — corto	23134	162
Gabro di Firenze	24295	170
Pietra di Como	28729	201
Spato fluore bianco	31555	221
Alabastro orientale bianco antico	27302	191
Marmo bianco di Paros	28376	198
— — di Carrara	27168	190
— — turchino di Carrara	27132	189
— — giallo di Siena	26778	187, 5
— — nero d'Italia	27120	189
— — breccia d'Aleppo	26867	188
— — lumachella	26732	187
— — cipollino	27258	191
— — violetto di Roma	27554	193
— — di Castel Sant'Angelo	24437	171
Pomice	9145	64
— — di Bologna, o spato pesante grigio	44409	311
Granito rosso d'Egitto	26541	186
Liquidi.		
Acqua stillata e piovana	10000	70
— — marina	10303	72
Birra	10231	71, 5

in circa

	Gravità specifiche	Peso d'un piede cubo
Liquidi.		℔
Sidro	10181	71, 2
Alcool di commercio	8371	58, 5
— — rettificato	8295	58
Latte di donna	10203	71, 5
—— d'asina	10355	72, 5
—— di capra	10341	72, 4
—— di pecora	10409	72, 8
—— di vacca	10324	72, 2
Orina umana	10106	70, 1
Olii.		
Olio d'uliva	9153	64
— di noce	9227	64, 5
— — lino	9463	66
— — rapa	9193	64, 3
— — terebinto	7920	55
— — mandorle dolci	9170	64, 2
— — balena	9233	64, 6
Gomme, Resine, Grassi.		
Ragia di pino	10727	75 in circa
Sandracca	10920	76
Mastice	10742	75, 2
Storace	11098	77
Gommalacca	11390	79
Gomma elastica	9335	65
Canfora	9887	69
Incenso	11732	82
Mirra	13600	95
Scamonea d'Aleppo	12354	86
Assa fetida	13275	93
Gomma comune	14817	103
— — arabica	14523	101
Sugo di liquirizia	17228	120
Oppio	13365	93
Cera gialla	9648	67, 5
— bianca	9686	67, 8
Sego	9419	65, 9
Lardo	9478	66, 4
Burro	9423	66

	Gravità specifiche	Peso d' un piede cubo
Legni.		℔
Quercia secca	8570	60
Sughero	2400	17
Olmo	6710	47
Frassino, il tronco	8450	59
Faggio	8520	59, 5
Ontano	8000	56
Acero	7550	53
Salcio	5850	41
Tiglio	6040	42
Abete maschio	5500	38, 5
— — femina	4980	35
Pioppo	3830	27
Melo	7930	55, 5
Pero	6610	46
Susino	7850	55
Ulivo	9270	65
Ciliegio	7150	50
Cipresso di Spagna	6440	45
Vite	13270	93
Sambuco	6950	48, 5
Gayac	13330	93, 4
Ebano d'America	13310	93, 1
Campeggio	9130	63
Arancio	7050	49
Sostanze varie.		in circa
Smeriglio	39221	274
Matita rossa fine	31391	220
— — grossolana	29904	210
Nikel fuso	78070	547
Cinabro rosso d'Almaden	69012	483
Piombaggine d'Inghilterra	20891	146
— — — di Germania	22456	157
Lavagna	28535	200
Pietra da rasoio bianca	28763	201
— — — — — nera e bianca	31311	219
Cristallo d'Islanda	27151	190
Porfido rosso	27651	193
— — verde	26760	187
Vetro di bottiglia	27325	191
— — verde comune	26423	185
— — bianco o cristallo comune	28922	202

	Gravità specifiche	Peso d'un piede cubo
		℔
Cristallo da specchi	24882	174
Flint glass inglese	33293	233
Porcellana della China	23847	167
— — — di Sassonia	24932	174
Solfo nativo	20332	142
— — fuso	19907	130
Corallo rosso	26890	188
Sal pietra	19000	133
Sal comune	19180	134
Gesso	20800	145
Etere solforico	7396	52
— — nitrico	9088	63
Acido solforico	18409	128
— — nitrico	12715	89
— — muriatico	11940	83
— — acetico	10626	74
Alcali volatile	8970	62
Chinchina	7840	55
Avorio	18250	128

in circa

Arie o Gas a 28 poll. di pressione, e a 10° di Réaumur.	Gravità specifiche, o peso d'un pollice cubico.
Aria atmosferica	0, 8600, 5 *grani*
Gas azoto	0, 44444
— ossigene	0, 50694
— idrogene	0, 03539
Acido carbonico	0, 68985
— — nitroso	0, 54690
— — ammoniaco	0, 27488
— — solforoso	1, 03820

TAVOLA

Di riduzione delle misure lineari più comuni, al piede parigino.

	Piedi	Pollici.	Lin.
Metro	3.	—.	11, 5
Passo geometrico parigino.	5.	—.	—, -
Tesa parigina	6.	—.	—, -
Auna parigina.	3.	7.	10, 8
— inglese (*yard*)	3.	7.	8, -
Pertica o canna fiorentina di Braccia 5 ½ *a panno* o comuni	10.	2.	2, -
— — agrimensoria usuale di Br. 5.. .	8.	11.	8, -
— — parigina { grande	22.	—.	—, -
— — parigina { piccola	18.	—.	—, -
Braccio di Firenze usuale o a *panno* .	1.	9.	6, 7
— — — Lucca	1.	9.	9, 5
— — — Milano	1.	9.	9, 3
— — — Modena.	1.	11.	5, 2
— — — Turino	1.	6.	11, 7
— — — Venezia.	1.	—.	10, -
Palmo romano usuale	—.	8.	3, -
— — di Napoli	—.	9.	8, 2
Piede inglese, e di Vienna	—.	11.	3, 12
— — del Reno e di Leida	—.	11.	7, 2
— — di Norimberga	—.	11.	2, 6

Fine del Tomo Primo.

044201 Biblioteca Nazionale Napoli

TAVOLA

DEI PRINCIPALI ARTICOLI CONTENUTI IN QUESTO VOLUME

INTRODUZIONE . . . . . Pag. 1

I. DELLE PROPRIETA' PIU' GENERALI DEI CORPI 27

1. *Dell' Estensione* ivi
2. *Della Mobilità* 31
3. *Dell' Impenetrabilità* 33
4. *Della Divisibilità* 35

II. DELL' ATTRAZIONE 38

1. *Della gravità* 39
2. *Dell' Affinità o Attrazione molecolare* 58

III. DEL CALORICO 88

1. *Dei Principii su cui è fondata la teoria del calorico.* 89
2. *Applicazione della Teoria precedente a varii fenomeni* 99
3. *Del Calorico specifico* 120
4. *Degli Effetti del Calorico, per produrre nei corpi un cambiamento di stato* 123
5. *Degli Effetti della Compressione e della Dilatazione sul calorico contenuto nei Corpi* 134
6. *Della legge con cui i fluidi elastici variano di volume, per effetto della pressione* 140
7. *Fenomeni che dipendono dall' azione del calorico, per far variare il volume e l' elasticità del fluido che n' è l' agente* 143
8. *Della gravità specifica dei fluidi elastici* 150
9. *Delle Dilatazioni e Contrazioni di varii corpi solidi, per effetto delle variazioni di temperatura* . . 151
10. *Del Termometro* 154
11. *Dei vapori e della loro mescolanza coi gas* . . . 167
12. *Della combustione* 185

IV. DELL' ACQUA 186

1. *Dell' acqua in stato liquido* 186
2. *Dell' acqua in stato di ghiaccio.* 224
3. *Dell' acqua in stato di vapore* 237

V. DELL' ARIA 243

1. *Della gravità e dell' elasticità dell' aria* 244
2. *Delle varie modificazioni a cui è sottoposta l'atmosfera* 267
3. *Dell' aria considerata come Conduttore del suono* . 286

VI. DELL' ELETTRICISMO 333

1. *Dell' Elettricismo eccitato per mezzo di sfregamento o di comunicazione* 335
2. *Dell' Elettricismo naturale* 414
3. *Dell' Elettricismo prodotto dal calore* 422
4. *Dell' Elettricismo galvanico.* 433

Digitized by Google

§.	pag.	ERRORI.	CORREZIONI.
125. —	82. —	$\sqrt{5}$ 1 a 2	$\sqrt{5}+1$ a 2
200. —	122. —	graticola di ferro sul quale	graticola di ferro sulla quale
260. —	182. n.a.	$xyz+\frac{xyz}{s}$	$xyz+\frac{3xyz}{s}$
—	*ibid.* —	sarà $\frac{nxyz}{s}$	sarà $\frac{3nxyz}{s}$
366. —	213.	$\frac{H\ b}{f(x\ \ a)}$	$\frac{H\ b}{f(x+a)}$
434. —	279-280	ac sempre	accordo sempre
609. —	348. —	aggiunti ai 116°	aggiunti ai 126°.

Digitized by Google

ERRATA DEL TOMO I.

Pag.	ver.	ERRORI.	CORREZIONI.
82.	n. *a* v. 2.	$\sqrt{5}$ 1 a 2	$\sqrt{5}+1$ a 2
122.	20.	graticola di ferro sul quale	graticola di ferro sulla quale
152.	n. *a*.	$xyz+\frac{xyz}{s}$	$xyz+\frac{3xyz}{s}$
ibid.		sarà $\frac{nxyz}{s}$	sarà $\frac{3nxyz}{3}$
170.	18.	affinità del vapore per essa	affinità del vapore per se stesso
172.	17.	poll. 27 $\frac{1}{59}$	poll. 27 $\frac{1}{2}$
174.	20.	a misura che questo fluido si scarica	a misura che questo fluido si carica
193.	2 e 4	diminuita dalla	diminuita della
202.	28.	sopra la molecola	sotto la molecola
213.	13.	$\frac{H\,b}{f\,(x\quad a)}$	$\frac{H\,b}{f\,(x+a)}$
227.	6.	non principia	principia
ibid.	7.	possa abbassarsi	non possa abbassarsi
231.	24.	corrisponde a 3 $\frac{1}{2}$	corrisponde a 3 $\frac{1}{3}$
246.	*nota* 20, v. 5 e 6.	32 pol. a 2 pol. e $\frac{1}{3}$	32 poll. a 2 piedi e $\frac{1}{3}$
251.	*nota a*, v. 10.	$\frac{np}{h-x}x=p$	$\frac{np}{h-x}+x=p$
255.	24.	se non che nell' aspirante	se non che nell' aspirante e premente
279-280.	32.	ac sempre	accordo sempre
287.	28.	proposizione	proporzione
295.	11.	esistenza degli alti	esistenza degli altri
348.	37.	aggiunti ai 116°	aggiunti ai 126°
421.	27.	verità della medesima	verità del medesimo

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 6.

Fig. 7

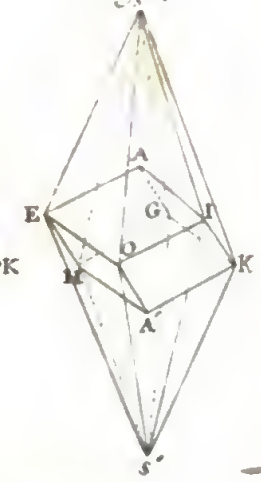


Fig. 12.

Fig. 14.

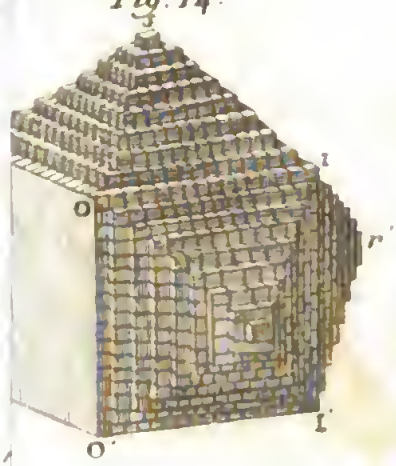


Fig. 11

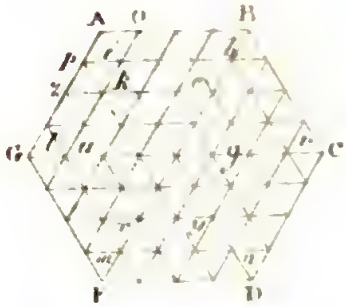


Fig. 17.

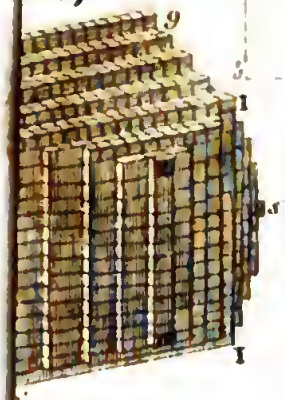
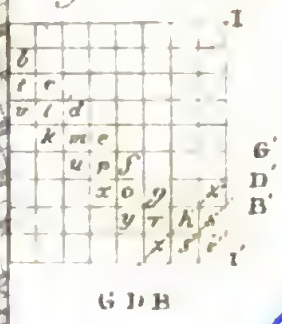


Fig. 18.

Fig. 20

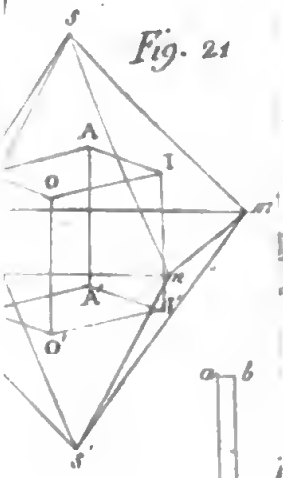


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 21



23.

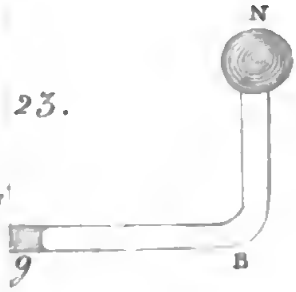
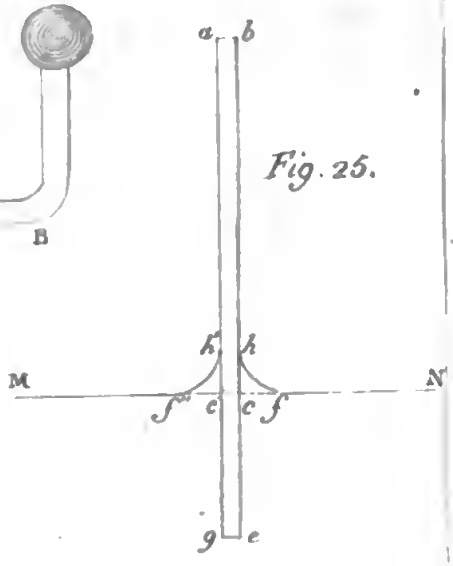


Fig. 25.



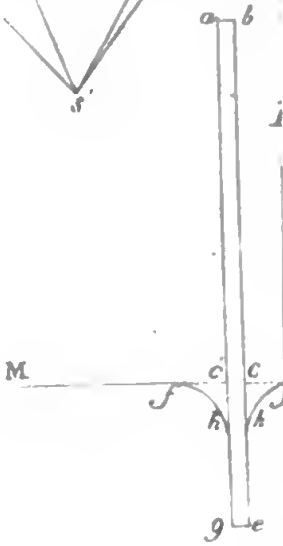


Fig. 28

Fig. 29

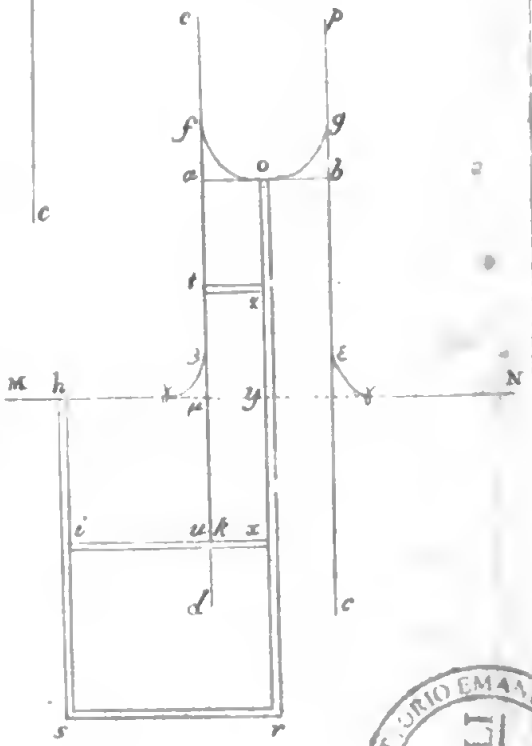
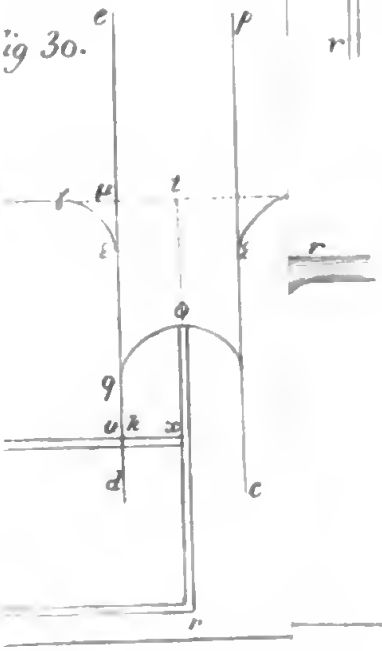


Fig 30.



VITTORIO EMANUELE III BIBLIOTECA NAZIONALE NAPOLI

Digitized by Google

Fig. 3

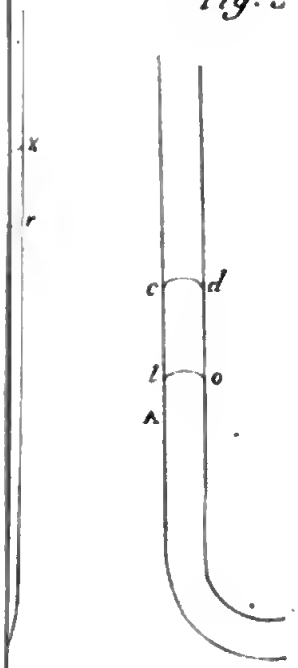
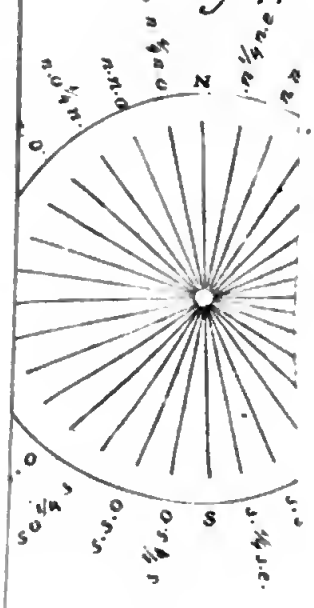
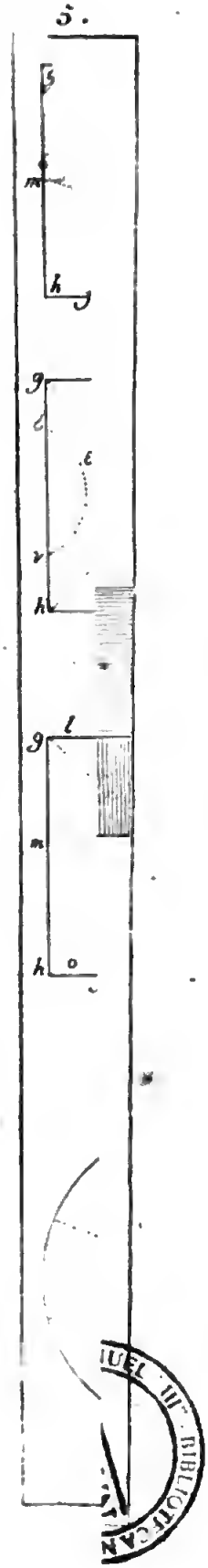


Fig. 44



Digitized by Google



Digitized by Google

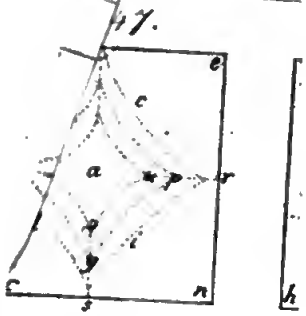


Fig. 54.

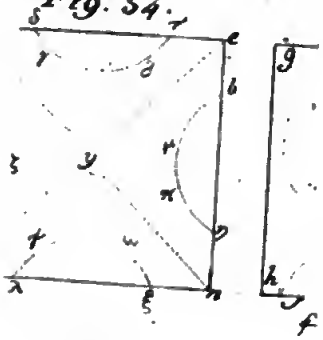


Fig. 61.

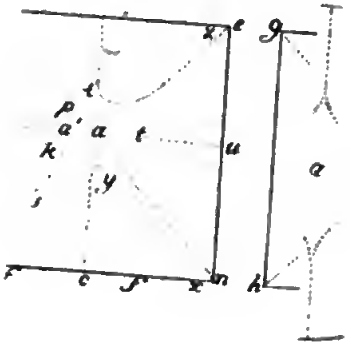
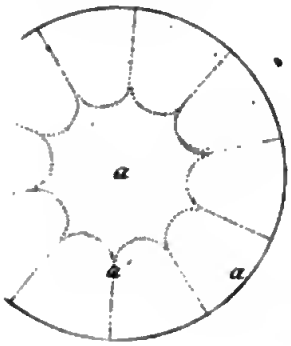


Fig. 67.



75.

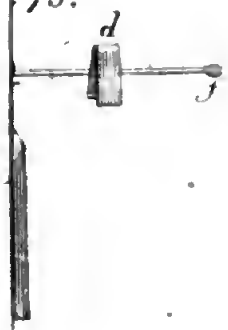


Fig. 76

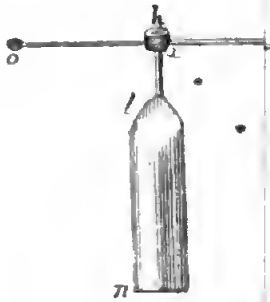


Fig. 77.

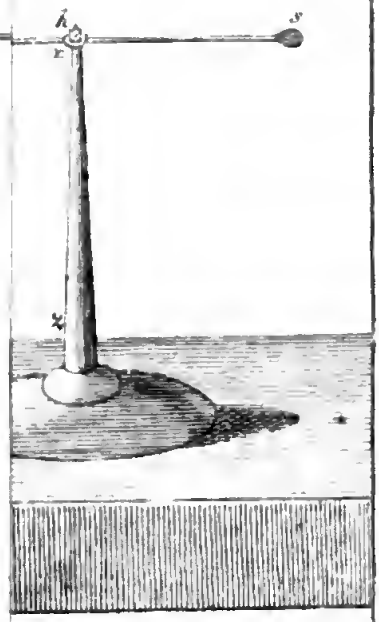


Fig. 79

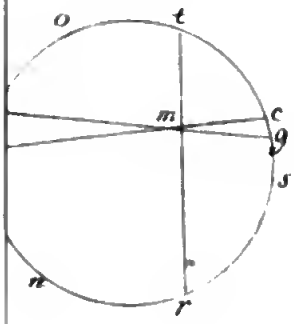


Fig. 82.

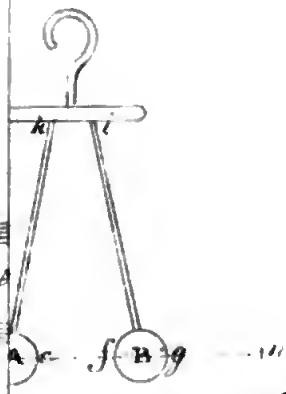


Fig. 83

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EM. NUEL. III
NAPOLI

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig 84.

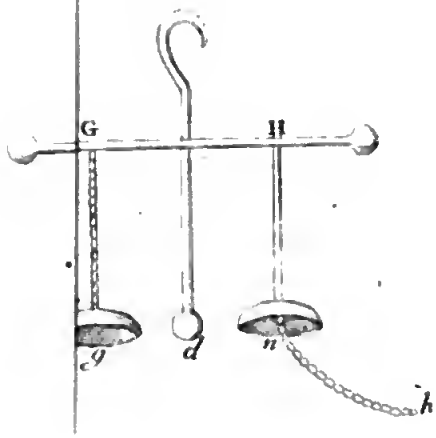


Fig 85.

Fig. 90.

Fig. 91.

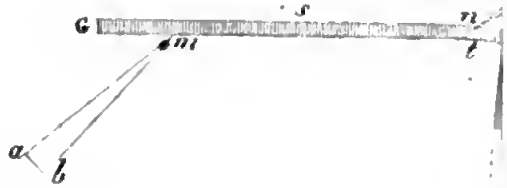
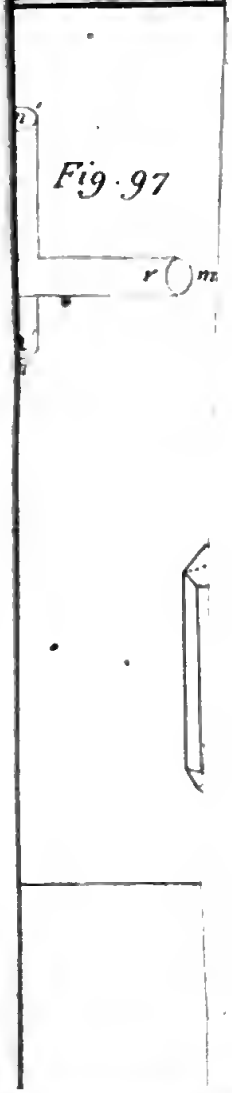


Fig. 94

Fig. 95.

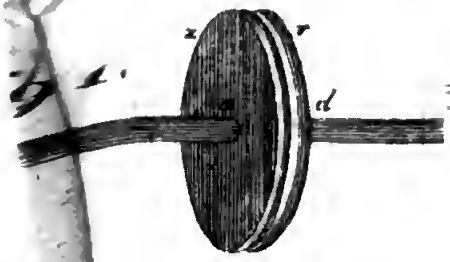
Fig. 97

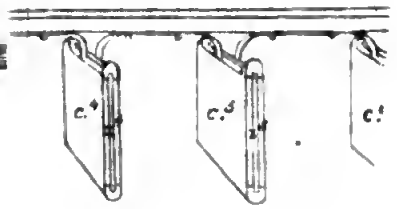


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google





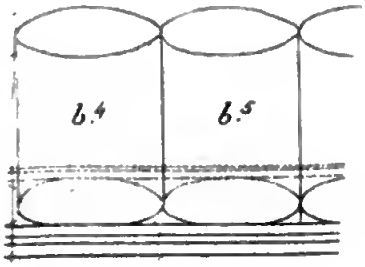


Fig. 2.

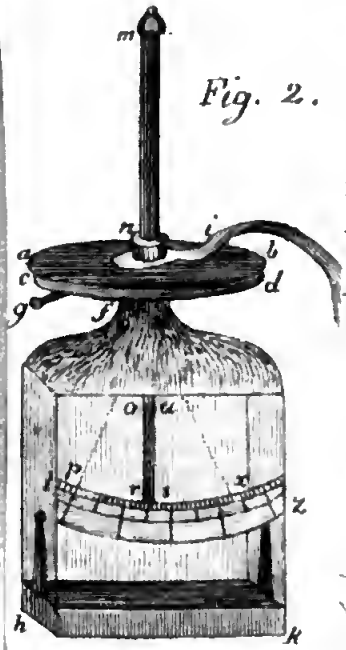
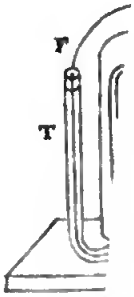


Fig.

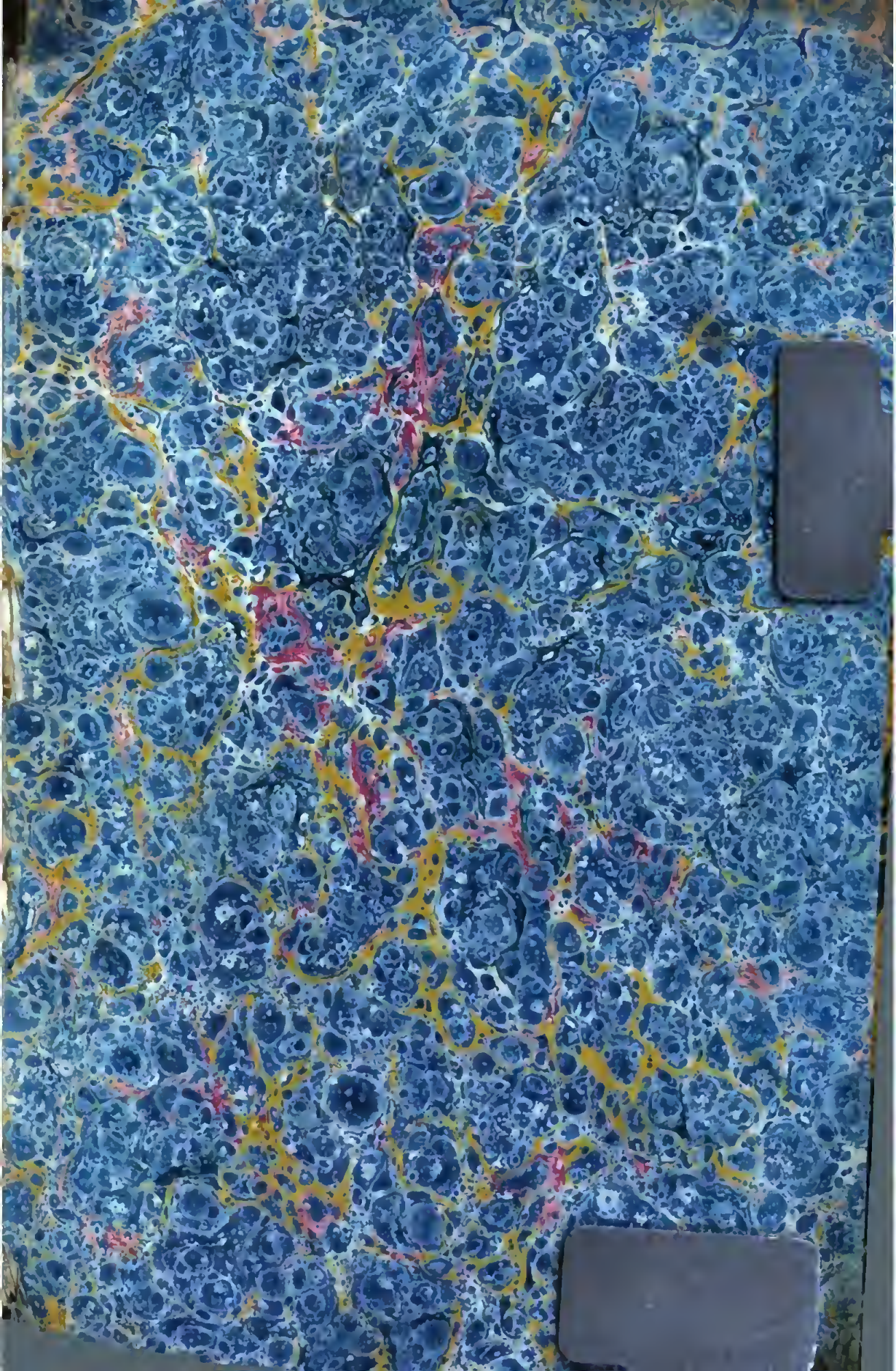


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google